CONTROLLORI LOGICI PROGRAMMABILI PLC







Ad uso interno del corso Elettronica e Telecomunicazioni

Introduzione ai comandi elettronici ed ai controllori logici programmabili

L'**automazione** di una qualsiasi operazione di un processo produttivo si consegue attraverso un complesso di apparecchiature di vario tipo, opportunamente connesse tra loro in modo da realizzare un **comando automatico**; questo può essere considerato un **sistema** la cui costituzione ed il cui funzionamento sono genericamente descrivibili con l'aiuto dello schema a blocchi della figura 1.

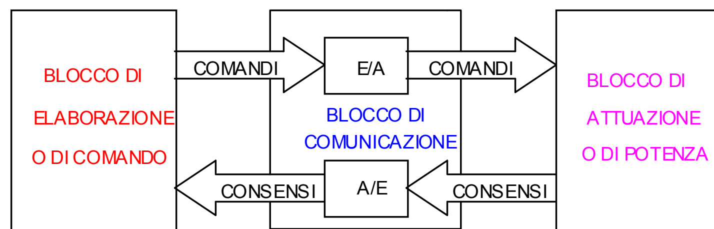


Fig. 1 - **Schema funzionale di un comando automatico**

Un comando automatico si può immaginare costituito da tre parti, ciascuna delle quali assolve ad una precisa funzione:

- blocco di elaborazione;
- blocco di attuazione;
- blocco di comunicazione.

Al **blocco di elaborazione**, detto anche **blocco di comando**, è demandato il coordinamento di tutte le operazioni necessarie per effettuare l'automazione richiesta, naturalmente in condizioni di assoluta sicurezza sia delle persone sia delle apparecchiature e dei prodotti; consente inoltre il dialogo tra l'uomo e la macchina mediante pulsanti, selettori, tastiere, visualizzatori, ecc..
Il **blocco di attuazione**, detto anche blocco di **potenza o di lavoro**, è costituito dalle apparecchiature che permettono di automatizzare il sistema.
Il **blocco di comunicazione**, detto anche **blocco di interfaccia**, è formato da tutti gli elementi che consentono lo scambio delle informazioni tra le altre due parti costituenti il comando.
L'interfaccia E/A (*elaborazione/attuazione*) è quella che consente il flusso di informazioni dall'unità di elaborazione agli attuatori; viceversa l'interfaccia A/E (*attuazione/elaborazione*) consente il flusso contrario, che in gergo prende il nome di **retroazione** o feedback.
Il funzionamento di un comando automatico comprende le seguenti fasi in successione ciclica:

- mediante l'impiego di opportuni sensori[1] si rilevano gli stati del processo automatico; tali sensori costituiscono l'interfaccia A/E, mentre le informazioni che essi inviano sono i cosiddetti "segnali di ritorno dal campo" o "**consensi**";
- nell'unità di elaborazione, ovvero nel "cervello" del sistema di comando, avviene l'elaborazione di tali informazioni (calcoli matematici, calcoli logici, decisioni sulle azioni da compiere);
- i risultati dell'elaborazione producono dei segnali, detti "segnali di comando", che generalmente non agiscono direttamente sugli attuatori[2], ma passano attraverso un azionamento (interfaccia E/A) che può essere realizzato, ad esempio, mediante un relè, un contattore[3] o un'elettrovalvola; sono quindi gli azionamenti che effettivamente comandano gli attuatori come, per esempio, motori elettrici e cilindri: sono quindi questi dispositivi che eseguono le varie fasi che compongono il ciclo automatico.

BLOCCO DI ELABORAZIONE O DI COMANDO

Il blocco di comando può essere realizzato ricorrendo ad una delle seguenti tecnologie:

- pneumatica,
- oleodinamica,
- elettromeccanica,
- elettronica.

Le tecnologie pneumatica ed oleodinamica consistono nel realizzare l'unità di elaborazione per mezzo di valvole pneumatiche o oleodinamiche di vario tipo, opportunamente collegate tra di loro.
I blocchi di comando elettromeccanici sono costituiti dai quadri elettrici a relè.
I comandi elettronici possono essere classificati come indicato in figura 2.
I sistemi a **logica cablata** sono costituiti da schede elettroniche ideate e costruite

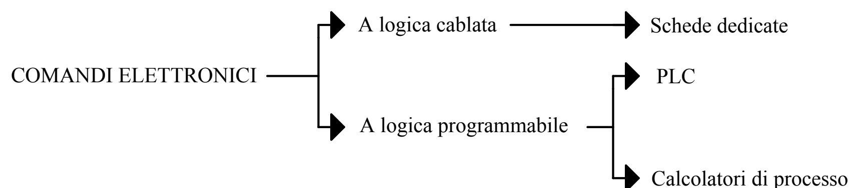


Fig. 2 - **Classificazione dei comandi elettronici**

---

[1] Un sensore è un dispositivo che converte una grandezza fisica in un segnale elettrico, ad esempio un interruttore di posizione elettromeccanico o di prossimità.
[2] Un attuatore è un dispositivo/macchina in grado di convertire un segnale elettrico in una grandezza fisica (ad esempio un motore elettrico).
[3] Un *contattore* (o *teleruttore*) è definito come un dispositivo meccanico di manovra capace di stabilire, sopportare ed interrompere correnti (di norma piuttosto elevate) in condizioni ordinarie del circuito ed in condizioni di sovraccarico.

per eseguire un determinato compito.
Essi possono anche raggiungere un buon grado di versatilità nel senso che, mediante l'utilizzazione di opportuni dispositivi (ad esempio le memorie), è possibile intervenire su alcuni parametri per modificarli.
Inoltre l'attivazione delle uscite viene eseguita in modo parallelo e quindi avviene con tempi legati alla sola risposta delle singole apparecchiature.
Nonostante tali possibilità restano sempre circuiterie dedicate e pertanto non solo sono inservibili per altre applicazioni, ma spesso non possono essere adattate neanche alla stessa macchina per cui sono state progettate e costruite, quando questa richiede delle varianti di funzionamento.
La ricerca di prodotti aventi il requisito della flessibilità, caratteristica sempre più richiesta poichè riduce notevolmente i costi dell'automazione, ha favorito lo sviluppo dei comandi elettronici a **logica programmabile**.
Questi presentano infatti il grande vantaggio di adattarsi ai mutamenti del ciclo produttivo semplicemente attraverso la modifica di un programma, senza dover intervenire sull'impianto.
Dopo aver utilizzato per un certo periodo apparecchiature già presenti sul mercato ma orientate ad altre applicazioni, come i calcolatori elettronici, si è passati all'uso di un prodotto industriale specifico, il "**controllore logico programmabile**", ideato e sviluppato in funzione dell'esigenza di flessibilità dei gruppi di comando dei sistemi automatici.
Quando le applicazioni sono particolarmente complesse, o riguardano i livelli gerarchici superiori dell'automazione, come ad esempio il controllo di un intero reparto produttivo, si usano i cosiddetti **computer industriali**.
Essi sono dei computer realizzati in modo da poter operare anche in ambienti particolarmente difficili (ad esempio le linee produttive) dove possono trovarsi a contatto di polvere, umidità, agenti di contaminazione chimica, vibrazioni, ecc..
Tuttavia, nonostante la grande offerta di tecnologia presente sul mercato, la scelta della tecnica da utilizzare per la costruzione del gruppo di comando non è sempre semplice, dipendendo da numerosi parametri tra i quali:

- tipologia del gruppo di potenza,
- costi di acquisto, di messa in servizio e di manutenzione,
- distanza tra il comando e gli attuatori,
- durata del ciclo di lavorazione,
- tipologia dei sensori da utilizzare,
- quantità delle informazioni da trattare.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA PLC

La breve introduzione relativa all'architettura dei comandi automatici dovrebbe aver evidenziato il contesto generale in cui si inserisce l'apparecchiatura oggetto della discussione, il ***controllore logico programmabile*** o ***PLC*** (*Programmable Logic Controller*).
Come si può dedurre da quanto già detto, confrontando i sistemi cablati e programmabili, essi sono stati ideati e progettati per eliminare gli inconvenienti caratteristici della logica a relè; a tal scopo si sostituiscono fisicamente, oltre che per le funzioni svolte, all'insieme dei componenti elettromeccanici che sono necessari a realizzare un quadro di comando con logica elettrica cablata.
Sfruttando le grandi potenzialità offerte dalla tecnologia elettronica, ed in particolare dall'uso dei microcontrollori, i PLC sono in grado di garantire, oltre ai requisiti di flessibilità, prestazioni impensabili per qualsiasi apparecchiatura elettromeccanica quali

- elaborazione di segnali analogici,
- effettuazione di operazioni matematiche,
- memorizzazione dati,
- visualizzazione dati,
- trasferimento dati,
- collegamenti operativi con altri PLC, con calcolatori e con controlli numerici.

Un PLC può quindi essere definito come un sistema elettronico che consente di realizzare, in modo flessibile, l'unità di elaborazione di un comando automatico e, più in generale, di qualsiasi controllo industriale.
Per chiarire il funzionamento del PLC, nonché il concetto di flessibilità, si può immaginare il controllore programmabile come un **magazzino di funzioni** dal quale l'utente preleva, istante per istante, quella che gli serve.
Ciò è reso possibile perché specificato dal *programma*, ovvero la lista delle istruzioni ideata dal programmatore allo scopo di comandare l'automatismo.
Da quanto appena affermato si deduce che *il PLC é un sistema composto di due parti profondamente diverse tra loro*:

- l'insieme "materiale" dei circuiti elettronici e delle apparecchiature necessarie per fornire le varie funzioni (hardware);
- l'insieme "immateriale" delle istruzioni che formano il programma utente sulla base delle esigenze specifiche (software).

Il principio di funzionamento del sistema PLC può essere sintetizzato nello schema della figura 3.
Esso opera attraverso l'elaborazione dei segnali di ingresso, che gli giungono dai sensori di campo, e l'emissione verso

gli attuatori dei segnali di uscita come stabilito dal programma logico.
In figura 4 è illustrato uno schema di principio che illustra alcuni dispositivi di I/O collegati al PLC (fonte Siemens).
Il PLC é un prodotto che, introdotto sul mercato dalla ***Modicon*** per la ***General Motors Hydramatic Division*** nel 1969, ha raggiunto uno standard consolidato e pertanto è offerto, dalle principali case costruttrici, in versioni che si differenziano tra loro per prestazioni tutto sommato marginali.

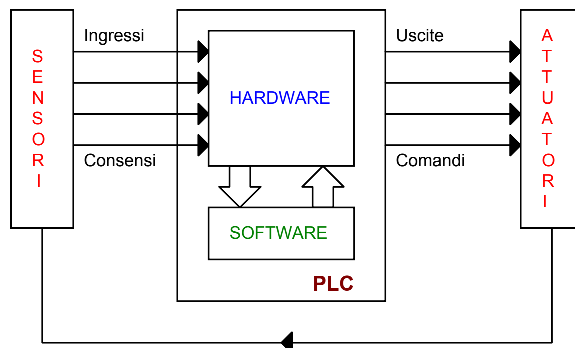


Fig. 3 - **Principio di funzionamento di un PLC**

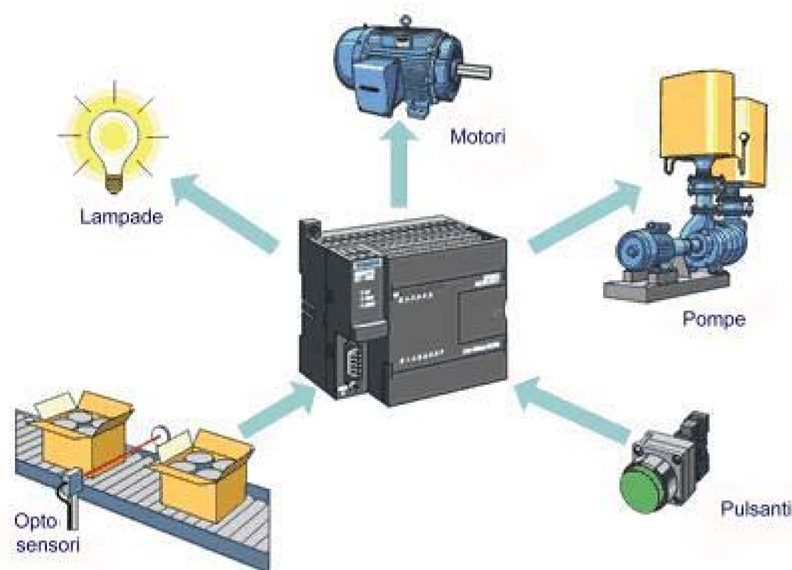


Fig. 4 – **Sensori e attuatori collegabili al PLC**

CONFRONTO TRA UN COMANDO ELETTROMECCANICO ED UN PLC

Questa trattazione é interamente dedicata allo studio dei controllori programmabili; essi vengono sempre più utilizzati per realizzare il blocco di comando elettronico, a logica programmabile, da affiancare alla parte di potenza delle macchine indipendentemente dalla loro tipologia costruttiva (elettromeccanica, pneumatica, oleodinamica, mista).
Per esaminare le caratteristiche principali del comando elettronico a programma, viene di seguito eseguito un confronto tra le peculiarità di un sistema elettromeccanico e di un sistema programmabile.
Nel primo caso (figura 5) si ha che:

- le funzioni del comando sono determinate, all'interno di un quadro elettrico, dai collegamenti in serie o in parallelo tra gli elementi di commutazione, realizzati con contatti normalmente chiusi (NC), normalmente aperti (NA) e di scambio (NC + NA), di vari dispositivi elettromeccanici come relè, temporizzatori, contatori, comparatori, ecc.;
- il funzionamento del sistema si descrive mediante gli schemi elettrici funzionali;
- i dispositivi elettromeccanici sono installati in un apposito armadio, che prende il nome di ***quadro***, e cablati secondo lo schema funzionale;
- la composizione ed il cablaggio del sistema dipendono dal particolare comando da realizzare;
- dal quadro sono derivati i collegamenti tra il comando e le apparecchiature di campo (attuatori e sensori);

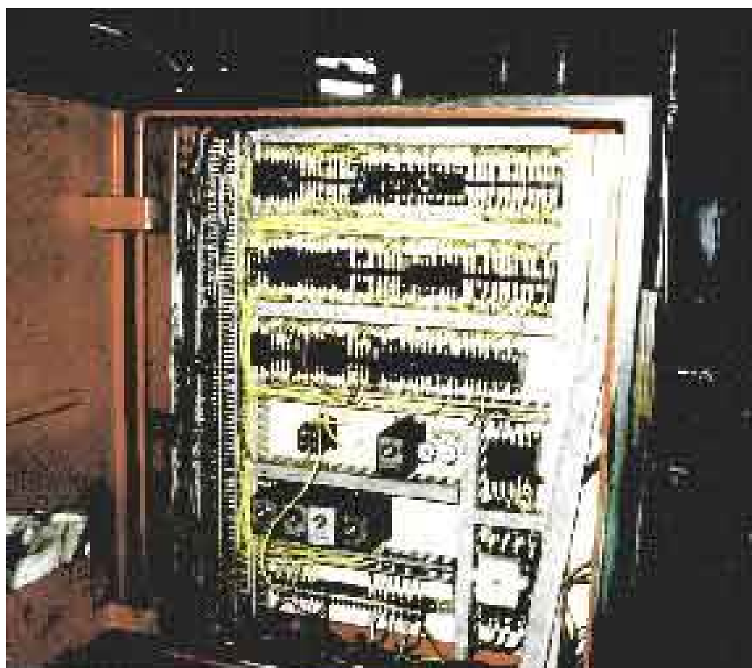


Fig. 5 - **Tipico esempio di pannello di controllo convenzionale**

- risiedendo la logica funzionale nella scelta dei componenti e nel particolare cablaggio eseguito, eventuali modifiche di funzionamento della macchina o dell'impianto richiedono variazioni, sia della composizione del quadro sia suo cablaggio, e pertanto un elevato costo ed un notevole spreco di tempo;
- il costo di messa in servizio è rilevante, per gli stessi motivi indicati al punto precedente, essendo in questa fase particolarmente frequenti le modifiche da apportare al sistema per giungere al suo corretto funzionamento;
- la spesa richiesta per ottenere sistemi affidabili a lungo è alta.

In un sistema di comando realizzato per mezzo di un PLC (figura 6) si ha che:

- l'ingombro è minimo e si ottengono un'elevata sicurezza di funzionamento e un'ottima affidabilità grazie anche all'uso di sofisticate procedure diagnostiche. Ciò perché il PLC è realizzato con soluzioni che prevedono un sempre maggiore utilizzo di componenti integrati. Si semplifica, inoltre, la manutenzione dell'impianto.
- essendo il PLC un'apparecchiatura di caratteristiche standardizzate e composta di una varietà minima di elementi, diventa possibile, secondo le esigenze, modificare o ampliare apparecchiature già esistenti mediante la sostituzione o l'aggiunta di tali elementi. Questo consente di approntare quadri elettrici di comando con funzioni sofisticate, ma ordinati e di semplice realizzazione;
- il cablaggio si riduce al solo collegamento degli organi di ingresso (pulsanti, finecorsa, sensori, ecc.) e degli organi di azionamento degli attuatori (contattori, relè, elettrovalvole, lampade, azionamenti elettronici, ecc.);



Fig. 6 - **Tipico esempio di pannello realizzato mediante PLC**

- si dispone, contrariamente ai sistemi di controllo di tipo elettromeccanico, di un numero molto alto di relè, temporizzatori, contatori, ecc. e, per ognuno di essi, un'elevata quantità di contatti (centinaia); tale numero è limitato esclusivamente dalla quantità di memoria presente sul controllore;
- le funzioni che deve svolgere l'unità di governo sono determinate mediante un programma che risulta indipendente dal tipo dagli organi di ingresso e di uscita usati, poiché ne considera solo lo stato dei segnali;
- il software può essere scritto scegliendo il linguaggio di programmazione più congeniale fra i due - tre solitamente disponibili in ogni PLC, al fine di adattare al meglio le conoscenze specifiche del personale addetto alla realizzazione dell'automazione;
- visti i progressi fatti dalla tecnologia elettronica è possibile, a costi sempre più contenuti, realizzare sistemi di controllo in grado di operare con numeri, di effettuare regolazioni (per esempio PID) e di prendere decisioni;
- essendo la logica funzionale contenuta nel programma memorizzato sul controllore, essa può modificarsi altrettanto facilmente di come può scriversi;
- variazioni funzionali e messa in servizio possono essere effettuate a costi non elevati, non richiedendo modifiche costruttive e di cablaggio;
- in caso di eliminazione della macchina su cui è installato il sistema, il PLC è ancora utilizzabile per un'applicazione anche diversa: è sufficiente riprogrammarlo per il suo nuovo compito;
- poiché il PLC è interfacciabile con stampanti, terminali video anche di tipo grafico, personal computer, è possibile un controllo di tipo on-line dell'impianto; questo tra l'altro consente di visualizzare e stampare, rapidamente e in qualsiasi momento, dati, messaggi e tutta la documentazione relativa all'impianto.

Non si trascurino però alcuni limiti a cui il PLC è soggetto:

- esso non elimina completamente i relè, in particolare nei circuiti di potenza;
- la sua velocità operativa (tempo di ciclo) può in alcuni casi, anche se raramente, essere insufficiente;
- nonostante l'ormai ottimo rapporto costo/prestazioni, richiede un investimento iniziale che lo rende vantaggioso solo per applicazioni sufficientemente complesse;
- la sostituzione per qualsiasi motivo di alcuni moduli (per esempio, unità centrale, moduli speciali) risulta a volte costosa;
- deve essere associato, per questioni di sicurezza, a particolari circuiti (per esempio, elettromeccanici) per garantire, in caso di emergenza, l'arresto in regime di sicurezza dell'impianto.
- pur essendo pensato per operare in ambienti difficili (alte temperature, forti vibrazioni e interferenze elettromagnetiche), occorre proteggerlo con opportuni accorgimenti (per esempio, appositi quadri elettrici);
- introduce un nuovo modo di lavorare, che non sempre è bene accetto, anche se con il passare del tempo questo

problema assume sempre minore incidenza.

L'HARDWARE DEL PLC

L'hardware di un controllore programmabile é costituito da tre parti fondamentali:

- ***unità centrale***, che organizza tutte le attività del controllore;
- ***unità ingressi/uscite*** (***schede I/O***), che consente il collegamento tra l'unità centrale ed il sistema da controllare;
- ***unità di programmazione***, che costituisce l'interfaccia uomo/macchina, ovvero il dispositivo che permette di inserire il programma nella memoria del PLC.

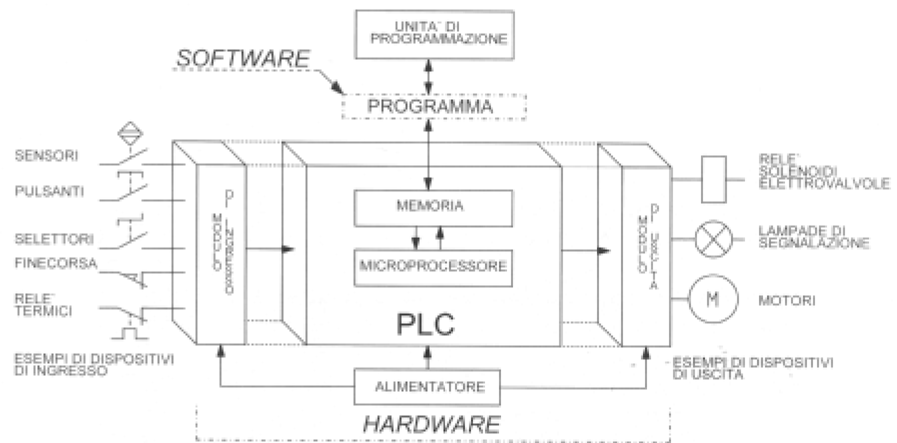


Fig. 7 - **Schema a blocchi dell'hardware di un PLC**

Nella figura 7 è illustrato lo schema a blocchi dell'hardware di un PLC; essa, oltre a dare un quadro riassuntivo di quanto detto circa gli elementi contenuti nell'apparecchio, mette in evidenza il percorso delle informazioni.

CLASSIFICAZIONI DEI PLC

I controllori programmabili possono essere classificati in base a diversi criteri.
Con riferimento alla quantità di ingressi ed uscite che gestisce un PLC si dice:

- ***micro*** quando può controllare un numero massimo di 64 I/O;
- di ***gamma*** (o taglia) ***bassa*** quando controlla un numero di I/O (di tipo digitale ed analogico) compreso tra 64 e 512;
- di ***gamma media*** quando controlla un numero di I/O (di tipo digitale ed analogico) compreso tra 512 e 2048;
- di ***gamma alta*** quando controlla oltre 2048 punti di I/O (di tipo digitale ed analogico).

Se occorre gestire un numero di I/O superiore a 2048, oppure intermedio tra due gamme, si ricorre al collegamento di più PLC.
Il modello Sysmac C2000H della Omron, ad esempio, offre la possibilità di collegare 32 PLC, ciascuno dei quali gestisce 2048 I/O; in configurazione massima il numero di I/O indirizzabili é pertanto di 65536.
Quando si parla di gestione di un numero di ingressi/uscite, *si intende sempre complessivamente*; dire 64 I/O significa che il PLC gestisce un massimo di 64 punti, che possono essere o ingressi o uscite, secondo una determinata combinazione come ad esempio 32 I + 32 O oppure 48 I + 16 O ecc..
Da questo punto di vista tutte le case costruttrici producono modelli caratterizzati da un' estrema versatilità, che consente un dimensionamento corretto in qualsiasi situazione.

In base al criterio costruttivo adottato i PLC possono essere:

- ***monoblocco*** (o compatti),
- ***modulari***.

Si dicono *monoblocco* (o compatti) quando vengono offerti in una configurazione rigida che non può essere modificata.
In taluni casi il numero degli I/O può essere aumentato con il collegamento ad un'unità di espansione (anch'essa di tipo rigido) generalmente uguale, sia nella forma che nelle prestazioni, all'unità base.
Nella figura 8 é illustrato un PLC di questo tipo con 14 I/O ripartiti in 8 ingressi e 6 uscite; esso può essere connesso a due unità di ampliamento per gestire ulteriori 32 ingressi e 32 uscite.
I PLC compatti sono generalmente di gamma bassa.
Un PLC si dice *modulare* quando é configurabile dall'utente in base alle esigenze specifiche, assemblando in un rack o su una base varie schede di concezione modulare aventi ciascuna una determinata funzione.

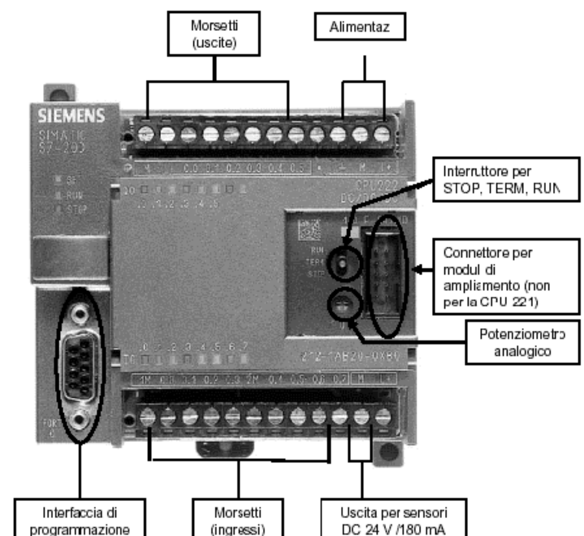


Fig. 8 - **PLC monoblocco Siemens S7 CPU 222**

Nella figura 9 é illustrato un esempio di PLC modulare di taglia alta (Siemens Simatic S7-400), in cui è installata la sola CPU, con a fianco un'unità di espansione di I/O digitali.
I PLC di taglia media e alta sono sempre di tipo modulare; in taluni casi sono modulari anche i PLC di gamma bassa.


Fig. 9 - **PLC modulare Siemens S7 – 400 con espansione**

Dal punto di vista dell'impiego i PLC si possono classificare in:

- ***sequenziali,***
- ***multifunzione.***

I PLC *sequenziali* possono essere compatti o modulari, di taglia piccola o media; i controllori *multifunzione* sono necessariamente modulari e generalmente di taglia grande.
I primi sono impiegati nella realizzazione degli automatismi che funzionano secondo una logica sequenziale; in pratica questi sono i controllori della prima generazione ovvero quelli nati per sostituire i quadri elettromeccanici.
Ovviamente, rispetto ai primi gli attuali PLC sequenziali sono molto migliorati e svolgono, oltre a quelle logiche, anche altre funzioni come ad esempio:

- calcoli matematici,
- elaborazione di segnali digitalizzati oltre che On/Off,
- conteggio veloce[4].

I PLC multifunzione sono impiegati in tutti quei casi in cui, oltre alle funzioni caratteristiche della logica sequenziale, sono richieste alcune delle seguenti prestazioni:

- misura,
- regolazione (PID),
- controllo assi,
- dialogo tra PLC e periferiche,
- comunicazione tra PLC.

Queste funzioni, una volta svolte esclusivamente da apposite apparecchiature, sono state via via assegnate a moduli speciali per PLC nell'ottica della cosiddetta ***integrazione dei livelli di automazione*** della fabbrica.

L'UNITÀ CENTRALE DEL PLC

In questo capitolo verranno analizzate le principali caratteristiche strutturali e di funzionamento di un'unità centrale, indipendentemente dalla tipologia costruttiva del PLC.
Come riportato nello schema a blocchi della figura 7, essa è costituita dalle seguenti entità fondamentali:

- ***alimentatore,***
- ***processore (CPU),***
- ***memorie (dati e programma)***.

Alimentatore

Un PLC per il suo funzionamento necessita di un alimentatore, il quale trasforma la tensione di rete (380-400/220-230/110-115 V AC-50 Hz) in tensione continua e stabilizzata, indispensabile all'unità centrale e ad altri circuiti, come per esempio le unità di ingresso o di uscita, i circuiti adibiti al test autodiagnostico ed i sensori.
Al microprocessore, in genere, occorrono per funzionare solo 5 V DC, mentre le altre unità possono richiedere tensioni più alte, come per esempio 24 V DC.
Per ogni applicazione si devono dimensionare gli alimentatori in relazione all'assorbimento energetico delle unità, effettuando la somma delle correnti che esse richiedono per poter funzionare.
Le più comuni caratteristiche di un alimentatore per PLC sono:

⇒ tensione di rete applicabile in ingresso (in genere 110÷115V, 220÷230V monofase o 380÷400V trifase);
⇒ corrente di uscita, che varia a seconda dei modelli in base alla quantità di moduli che deve supportare; valori tipici sono compresi tra 1 e 15 A;
⇒ separazione galvanica tra entrata e uscita dell'apparecchio, che evita disturbi provenienti dalla rete di alimentazione;

[4] La funzione di ***conteggio veloce*** é quella che consente ai PLC di ricevere segnali che hanno un' elevata frequenza come, ad esempio, quelli provenienti dai rilevatori di posizione angolare denominati *encoder* (tipicamente 10 KHz).

⇒ protezione per i cortocircuiti costituita generalmente da un fusibile di tipo rapido;
⇒ protezione contro sovraccarichi, sovratensioni, surriscaldamento;
⇒ segnalazione attraverso un led (individuabile dalle sigle "Power" oppure "AC" oppure "ON") del funzionamento o meno dell'unità, della presenza della tensione di rete in ingresso e della disponibilità di tensione in uscita, correttamente trasformata e stabilizzata.

La selezione della tensione di rete può avvenire, secondo i modelli, in modo automatico, mediante un selettore manuale oppure tramite un connettore jumper posizionato in prossimità dell'alimentatore stesso.
In alcuni modelli monoblocco di taglia piccola è stato scelto, al fine di ridurre l'ingombro dell'apparecchiatura, di non installare l'alimentatore; in tal caso é prevista una morsettiera tramite la quale collegare una fonte in DC, di solito a 24 V.
Per il collegamento dell'alimentatore ai circuiti esterni (di solito PLC e sensori) é invece disponibile una morsettiera multipla con le uscite a 5, 12 e 24 V; tuttavia nella maggior parte dei casi l'utente non deve effettuare alcun cablaggio poiché

a) se il PLC é di tipo monoblocco i collegamenti sono già predisposti dal costruttore;
b) se é di tipo modulare i morsetti vengono inseriti nell'apposito connettore del bus quando la scheda alimentatore viene installata sul rack; il bus é infatti un circuito stampato, montato in fondo al rack, contenente solo piste di collegamento e connettori femmina cui si collegano i maschi dei vari moduli del PLC.

Nei più delicati processi di automazione, gli alimentatori PLC sono caratterizzati da un sistema modulare di collegamento; in caso di guasto, la potenza richiesta viene divisa tra le rimanenti unità fino alla sostituzione del modulo difettoso (localizzabile di solito tramite lo stato di un LED).
La realizzazione di questo tipo di ridondanza accresce l'affidabilità del sistema ed è indispensabile negli impianti con un ciclo di produzione continuo dove un'interruzione dell'alimentazione elettrica può bloccare un intero processo; in tal caso un'unità di backup a batteria consente di garantire un'alimentazione continua anche in presenza di un'interruzione dell'energia elettrica.
Da anni si utilizzano sempre più spesso alimentatori detti switching, compatti e adatti per il montaggio su guide DIN; essi rappresentano la soluzione ottimale dove sia necessario alimentare PLC, moduli I/O di interfaccia e sensori.
Durante il funzionamento, tali alimentatori hanno la caratteristica di generare dei disturbi a seguito delle rapide variazioni di tensione e di corrente che si manifestano nei componenti elettronici presenti; tali disturbi possono essere irradiati o condotti sui collegamenti e interferire con altre apparecchiature elettroniche.
Diverse sono le tecniche usate dai costruttori per ridurre a limiti accettabili questi disturbi; normalmente gli alimentatori switching in commercio sono realizzati in conformità alle normative che prescrivono limiti precisi alle interferenze elettromagnetiche generate (EMI - Electro Magnetic Interference).
Esistono in tal senso indicazioni sia da parte delle normative internazionali IEC sia da quelle europee CISPR (automazione d'ufficio), tedesche VDE e statunitensi FCC (per l'automazione industriale e d'ufficio).
In caso d'interruzione momentanea di alimentazione (di durata superiore a un tempo compreso tra 10 e 200 msec., a seconda dei modelli), alcuni tipi di PLC hanno una protezione che interviene mettendo a zero le uscite (e quindi in linea di massima disattivando gli attuatori) tramite un bit di sistema.
Quando ciò accade, il sistema riprenderà ad operare solo quando l'alimentazione ritornerà ad un valore almeno pari, nella maggior parte dei casi, all'85% del valore nominale.
Se l'interruzione di tensione ha durata inferiore a 10 msec., il circuito di protezione non interviene e la funzionalità del PLC viene garantita dalla presenza di condensatori interni all'alimentatore; durante questo intervallo di tempo, infatti, questi componenti continuano ad erogare la potenza elettrica necessaria al funzionamento dell'apparecchio, senza che si scarichino a tal punto da rendere inaffidabile il funzionamento dei circuiti.
Oltre all'alimentatore alcuni PLC datati sono provvisti di una batteria tampone, in genere al litio (da 2÷3,4 V), che ne salvaguarda alcune aree di memoria RAM (programma o dati, come si vedrà nel successivo paragrafo) in caso di blackout; la sua durata varia dai due ai cinque anni, a seconda delle funzioni che vengono ad essa asservite.

CPU (Central Processing Unit)

La CPU del PLC è costituita da uno o più ***microcontrollori dedicati***[5]; è il centro di attività di tutto il PLC e coordina tutte le operazioni da svolgere.
Per mezzo di periferiche la CPU recepisce tutte le informazioni che arrivano dal mondo esterno (tramite i sensori), quindi, svolgendo il programma, invia per mezzo di altre periferiche i risultati delle sue operazioni all'esterno (attraverso gli attuatori).
Durante l'esecuzione del programma, la CPU cerca nella memoria le istruzioni che gli vengono richieste e le esegue ad una ad una per gestire il funzionamento completo di ogni processo.
In pratica la CPU sostituisce i cablaggi e alcune funzioni come quelle svolte dai temporizzatori e dai contatori, con la differenza che, mentre in una logica cablata tutto funziona in parallelo (cioè contemporaneamente), nel PLC la CPU esegue le proprie funzioni in modo sequenziale; ne consegue la grande importanza della velocità con la quale vengono

[5] Si rimanda ad altra documentazione per gli approfondimenti relativi a questi dispositivi.

svolte le operazioni, che dipende dalla tecnologia costruttiva della CPU stessa.

La memoria del PLC

La memoria di un PLC, costituita tipicamente da dispositivi a semiconduttore di tipo RAM, ROM, PROM, EPROM, EE-PROM e FLASH può essere suddivisa, in base alla sua funzione, in:

- **memoria di sistema,**
- **memoria di programma,**
- **memoria dati.**

Memoria di sistema

La memoria di sistema conserva tutte le informazioni che servono per la gestione ed il controllo del funzionamento della CPU e che pertanto costituiscono il "sistema operativo" (*firmware*) del PLC; tra queste, ad esempio, si hanno

- le routine che, determinando tutta una serie di autotest iniziali, consentono alla macchina di avviarsi;
- i dati del setup, che configurano il PLC secondo le specifiche desiderate dall'utente; impostati via software, consentono ad esempio di istruire la CPU sulla tipologia dei moduli di espansione che dovrà gestire, di stabilire la durata massima del *tempo di scansione*[6] e dei parametri inerenti la comunicazione seriale tra PC e PLC oppure tra diversi PLC, ecc;
- le routine che permettono l'esecuzione del processo di *scansione* previsto per quel tipo di PLC;
- le routine che sono richiamate, in modo trasparente all'operatore, al fine di compiere operazioni di diagnostica interna sia in fase di RUN sia durante la messa a punto (monitoraggio) del funzionamento del programma.

Data la primaria importanza di quanto è presente nella memoria di sistema e considerato anche che, ad eccezione dei dati del setup, non è necessaria alcuna modifica, i costruttori utilizzano tecnologia ROM come supporto di immagazzinamento; è anche da sottolineare che la memoria di sistema non è accessibile all'utente.

Memoria di programma

In questa memoria sono registrate le istruzioni del programma che il PLC deve eseguire; la sua capacità normalmente varia da 1 a oltre 256 K parole (word da 16 bit).
Come supporto fisico da alcuni anni si sfrutta la tecnologia FLASH (disponibile anche in formato memory card), caratterizzata da grande affidabilità, ridotti consumi, facile trasportabilità, e che offre i notevoli vantaggi di non aver bisogno di batteria tampone in caso di mancanza di alimentazione elettrica e di poter essere duplicata.
La memoria FLASH è utilizzata per sviluppare e mettere a punto il programma; questa può, infatti, essere scritta e corretta un numero praticamente infinito di volte, restando installata nel PLC, mediante l'unità di programmazione del controllore.

Memoria dati

Qui sono memorizzati i risultati temporanei delle elaborazioni, i contenuti dei contatori, dei temporizzatori, dei relè interni e i singoli bit che rappresentano lo stato logico degli ingressi e delle uscite (*memoria immagine degli I/O*) che hanno valori che cambiano in continuazione; anche in questo caso la memoria disponibile può essere compresa tra 1 a oltre 256 K parole (word da 16 bit).
Una parte di questa memoria può essere tamponata (o trasferita in FLASH); si riesce così a tenere memorizzato un conteggio o lo stato logico di un determinato relè interno, in modo, ad esempio, da far ripartire correttamente l'impianto al ritorno della normale alimentazione.
La memoria dati è necessariamente realizzata con memorie RAM o FLASH; nel funzionamento normale è accessibile solo al processore, ma per favorire la fase di messa a punto è possibile attivare una modalità di lavoro che consente l'accesso alla memoria dati anche all'utente.
In questo modo diventa possibile, simulando lo stato, o come si dice in gergo "**forzando gli I/O**", verificare la rispondenza del programma alle specifiche.

Altri dispositivi dell'unità centrale

I tre componenti fondamentali dell'unità centrale (CPU, memorie ed alimentatore) sono affiancati da altri dispositivi che, pur essendo secondari dal punto di vista teorico, non lo sono da quello pratico.

Selettore della modalità operativa

Tutti i PLC possono essere usati in almeno due diverse **modalità operative** selezionabili tramite un comando esterno: il *modo esecuzione* (***run***) ed il *modo apprendimento* o *programmazione* (***stop/prog***).
In modalità programmazione le uscite sono disabilitate e pertanto possono essere introdotti o editati programmi; in modo esecuzione le uscite vengono abilitate e quindi il programma contenuto in memoria é operante.
Alcuni PLC hanno una terza modalità di lavoro detta *di monitoraggio* (***monitor/term***); tale modalità consente di forzare o riassettare uscite, relè interni, temporizzatori o contatori, di controllare rapidamente lo stato logico degli ingressi

[6] La definizione precisa di questo parametro sarà discussa in un paragrafo successivo; per ora lo si identifichi come il periodo necessario affinchè siano svolti un intero ciclo del programma scritto dall'operatore e una serie di operazioni di sistema trasparenti all'operatore.

o delle uscite e, infine, di verificare i valori correnti dei contatori e dei temporizzatori.
Diventa così possibile attivare le funzioni di debugging del PLC per effettuare la messa a punto del programma.
In alcuni modelli é previsto un indicatore led esterno che informa l'utente del modo di funzionamento in atto.

Connettore per unità di programmazione

Per inserire i programmi nella memoria del controllore occorre collegare ad esso una delle unità di programmazione previste dal costruttore; è necessario quindi un opportuno dispositivo di comunicazione tra la memoria di programma ed il programmatore.
Se questo è un personal computer, si rende necessario avere un'interfaccia di comunicazione seriale asincrona, per esempio del tipo RS232, RS422 o RS485.

Circuiti di autodiagnosi

Nei controllori logici programmabili viene effettuato, ad ogni ciclo di esecuzione del programma, un test sul buon funzionamento del sistema[7].
Qualora si verifichi un guasto alla CPU, alla memoria programma o nel bus di collegamento tra unità centrale ed eventuali moduli di I/O si interrompe la scansione del programma, sono disabilitate tutte le uscite e, in alcuni modelli, si apre il contatto di uno speciale relè, detto "di RUN", presente all'interno del PLC.
Questo relè è fornito di almeno un contatto esterno utilizzabile per realizzare un allarme in caso di guasto.

Indicatori dello stato degli I/O

Sul pannello frontale dei controllori monoblocco sono sempre previsti led luminosi, in quantità pari al numero dei punti I/O, che si accendono quando gli ingressi o le uscite corrispondenti sono attive; nel caso dei PLC modulari sono disposti su ciascuna scheda I/O in modo da risultare sempre ben visibili.

Morsetterie I/O

Ogni controllore presenta una morsettiera su cui cablare gli ingressi e le uscite esterne.
Allo scopo di non dover ricablare tutti i punti I/O ogni volta che si deve smontare il PLC, spesso tali morsettiere sono separabili da esso per mezzo di un connettore speciale appositamente predisposto.

Connettore per moduli di ampliamento

Nel caso dei PLC monoblocco è previsto un connettore per collegare all'unità centrale, ad esempio, un'unità di espansione allo scopo di aumentare il numero degli I/O disponibili, oppure un qualsiasi modulo speciale.

Sistema di raffreddamento

I PLC possono operare senza problemi fino ad una temperatura di circa 50°C; quando si prevede, in prossimità del controllore, il verificarsi di temperature superiori si inserisce nell'unità centrale un ventilatore per favorire lo smaltimento del calore.

Simulatore

Dispositivo collegabile alla morsettiera di input che, emulando ciò che accade sul campo, permette una rapida messa a punto del programma.

UNITÀ INGRESSI/USCITE (I/O)

I moduli di I/O collegano il PLC agli organi di rilevazione e agli attuatori del processo automatico da controllare.
La loro funzione è di trasformare i segnali elettrici provenienti dai dispositivi esterni alla logica programmabile in segnali interpretabili dalla CPU e viceversa.

Ingressi binari (ON/OFF)

I dispositivi di ingresso binario (ON/OFF) trasducono una tensione *tutto o niente* in uno stato logico interpretabile dalla CPU del PLC.
I segnali che trattano i moduli di ingresso digitale possono essere, in relazione al tipo di alimentazione dei sensori, in corrente continua (a loro volta suddivisi nei tipi NPN, PNP, NPN-PNP secondo le polarità nei collegamenti con l'esterno) o in corrente alternata.
In entrambe le categorie si trovano interfacce che funzionano a valori di tensione differenti (5, 5÷24, 12÷24, 24, 24÷60, 48, 115 DC e 24, 48, 115, 230 V AC); esistono anche tipologie dette "universali" che possono funzionare con segnali sia in DC sia in AC, ma a un costo decisamente superiore rispetto agli altri (24V, 48V, 115V)

[7] Come si vedrà più dettagliatamente in un successivo paragrafo.

Il costruttore definisce un range di tensione per il quale l'ingresso deve considerarsi allo stato logico 1 o 0: si avrà, per esempio, che alla chiusura di un interruttore l'ingresso corrispondente sul PLC sarà allo stato 1, mentre quando lo stesso interruttore sarà aperto lo stato logico dell'ingresso sarà 0.

Nella tabella 1 si possono verificare le corrispondenze tra i valori di tensione ai capi dell'ingresso e i relativi stati logici acquisiti dalla CPU, nel caso in cui i sensori siano alimentati alla tensione di 24 V DC e abbiano un funzionamento di tipo ON/OFF:

- se la tensione sarà compresa tra 0 e 5 V lo stato logico dell'ingresso sarà 0, cioè si considera che il circuito a esso collegato sia aperto;
- se la tensione sarà compresa tra 15 e 24 V lo stato logico dell'ingresso sarà 1, cioè si considera che il contatto a esso connesso sia chiuso;
- per evitare errori nell'interpretazione, si prevede un range di tensione ibrido, che non dia luogo a cambiamenti di stato logico; nel caso in esame la tensione compresa tra 5 e 15 V non cambia lo stato logico assunto dall'ingresso.

INGRESSO ON/OFF 24 V DC	
TENSIONE IN VOLT	**STATO LOGICO**
0 – 5	0 (LOW)
15 – 24	1 (HIGH)
5 – 15	ZONA DI INCERTEZZA

Tab. 1 - **Stati logici di un ingresso ON/OFF 24 V DC**

La CPU quindi interrogherà periodicamente i vari ingressi traducendo il loro stato logico nella memoria dei dati.

Per evitare danneggiamenti irreparabili dovuti a sovratensioni o ad altre interferenze, il modulo d'ingresso viene costruito con ***disaccoppiatori ottici*** realizzati con un led e un fototransistor, che interrompono la continuità galvanica con il campo.

Il led emette una luminosità che è modulata dal segnale d'ingresso; a sua volta il fototransistor trasforma le variazioni di luce che riceve in variazioni del segnale elettrico sui terminali di uscita.

Fanno parte integrante del modulo:

- un secondo circuito, costituito da un filtro passa-basso che elimina le componenti parassite ad alta frequenza; da notare che tanto più elevata è l'immunità ai disturbi dovuta a un filtraggio più raffinato, tanto più alto risulta essere il *tempo di commutazione* (tempo necessario affinché il segnale che ha raggiunto l'ingresso sia memorizzato nel registro immagine della memoria dati del PLC);
- un circuito comprendente un trigger di Schmitt che opera una quadratura dell'onda, in modo da ottenere due soli livelli (alto e basso) corrispondenti agli stati logici 1 e 0.

Per gli ingressi in corrente continua si distingue tra due moduli di input, detti a *logica negativa* (o *input ad erogazione di corrente*) e a *logica positiva* (o *input ad assorbimento di corrente*).

NPN (**logica negativa - ad erogazione di corrente**)

Avrà un collegamento interno per cui il dispositivo di ingresso (sensore, trasduttore) sarà collegato tra il morsetto di input del PLC e la fase negativa dell'alimentazione, mentre la fase positiva sarà collegata al morsetto comune del modulo (figura 10).

PNP (**logica positiva - input ad assorbimento di corrente**)

Con i moduli a logica positiva il sensore sarà cablato tra il morsetto di input del PLC e la fase positiva dell'alimentatore; il morsetto comune del modulo sarà collegato alla fase negativa dell'alimentatore (figura 11).

Nella figura 12 è infine rappresentato lo schema di cablaggio/interno di un ingresso in AC.

Ogni unità di ingresso può essere collegata a più sensori; sono divenute ormai uno standard le schede a 8 o 16 ingressi nel caso di PLC di taglia piccola o media, mentre per PLC di taglia media o grande si possono raggiungere le 64 entrate.

È possibile contare infine sull'utilizzo di ***ingressi veloci*** i quali, non essendo filtrati, hanno un tempo di commutazione molto più breve degli altri; tipicamente vengono impiegati per collegamenti a dispositivi quali gli *encoders ottici*, o in situazioni in cui sia richiesto lo svolgimento di ***task rapide***, cioè quei sottoprogrammi che vanno attivati

Fig. 10 - **Schema interno degli ingressi: per segnali in DC, con accoppiamento NPN**

Fig. 11 - **Schemi interni degli ingressi per segnali in DC, con accoppiamento PNP**

in condizioni di massima velocità disponibile.
Oltre agli encoders ottici, i dispositivi più spesso collegati agli ingressi del PLC sono *finecorsa*, *selettori, pulsanti*, *interruttori magnetici, interruttori fotoelettrici, interruttori di prossimità* e *sensori di livello*.
Mentre non ci sono problemi per i collegamenti ad apparecchiature con contatti elettromeccanici, in quanto non polarizzati, particolare attenzione richiedono invece gli interruttori di prossimità induttivi, capacitivi, ultrasonici e le fotocellule aventi un'uscita statica (transistor, SCR, triac) che necessitano di collegamenti omologhi.
Per esempio, i sensori con uscita di tipo NPN potranno essere collegati direttamente solo ad ingressi di PLC tipo NPN, come si vede dagli esempi in figura 13 e 14.

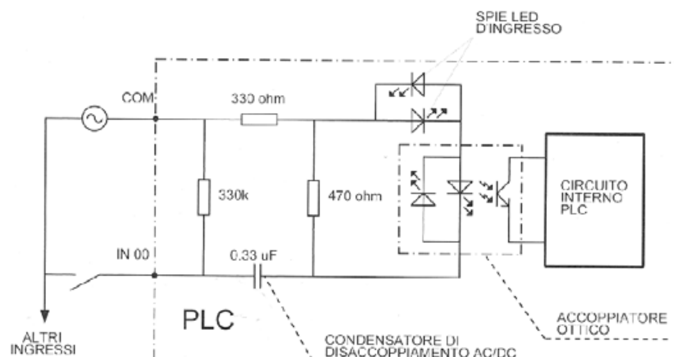


Fig. 12 - **Schema interno degli ingressi: per segnali in AC**

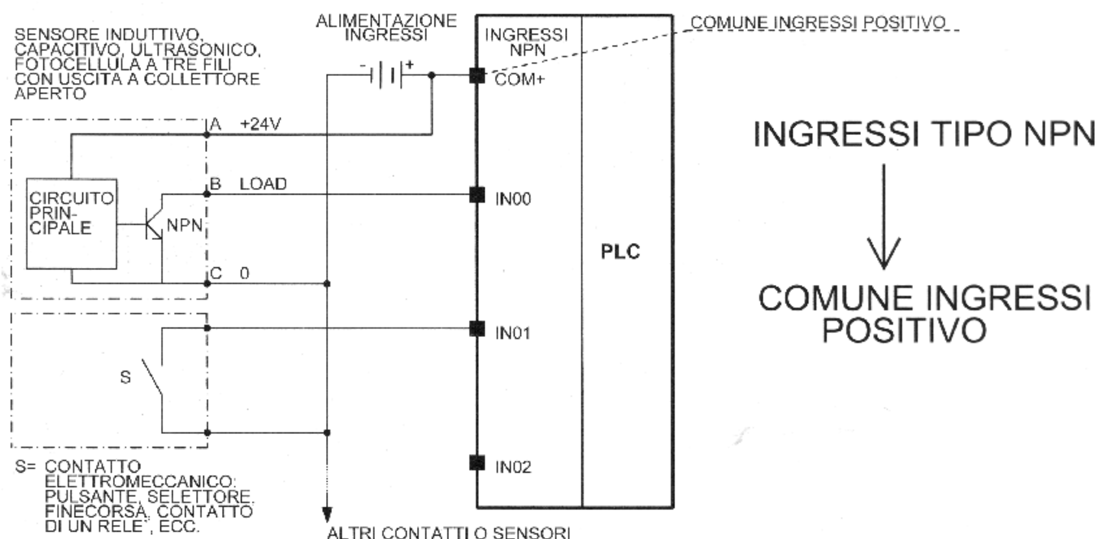


Fig. 13 – **Esempio di collegamento tra un interruttore di prossimità con uscita NPN e un contatto elettromeccanico con un PLC con ingressi in DC tipo NPN**

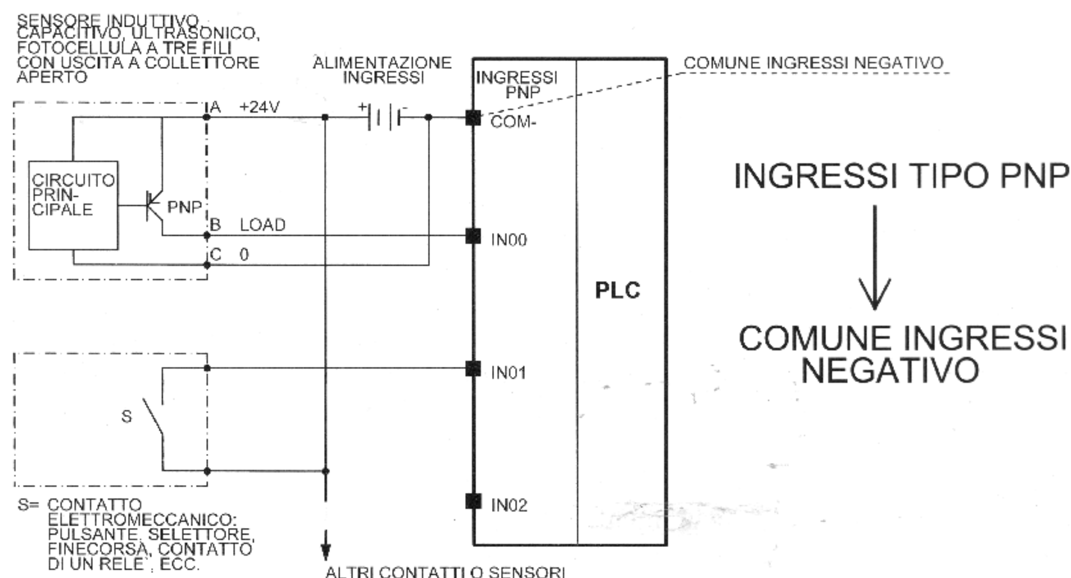


Fig. 14 – **Esempio di collegamento tra un interruttore di prossimità con uscita PNP e un contatto elettromeccanico con un PLC con ingressi in DC tipo PNP**

Uscite binarie (ON/OFF)

I moduli di uscita binari (ON/OFF) trasducono gli stati logici assegnati al registro immagine delle uscite in segnali elettrici che commutano fisicamente il punto di uscita.
I dispositivi di commutazione delle uscite possono essere di tipo elettronico o elettromeccanico; si avranno quindi uscite a triac, transistore e relè, a seconda del tipo di carico che si dovrà comandare.
Questo potrà funzionare in corrente continua o alternata, ed essere alimentato ad una determinata tensione in funzione della potenza da esso assorbita.

Per questo motivo possono essere trovati in commercio PLC con uscite:

- a relè da 230V/5A in AC oppure da 24V/1.5A in DC,
- a triac da 110÷240V/1A solo in AC,
- a transistor da 24V/0.5A solo in DC.

Naturalmente la scelta della configurazione di uscita da utilizzare va fatta considerando anche l'intensità di corrente assorbita dagli organi di comando degli attuatori e quella massima che può circolare nei circuiti di uscita del PLC, indicata dal costruttore nelle specifiche.

Qualora la prima fosse più elevata della seconda, diventa necessario realizzare un ***servocomando*** del dispositivo da pilotare; ciò si configura, ad esempio, facendo commutare dall'uscita del PLC un contattore ausiliario che a sua volta agisce sull'elemento di comando dell'attuatore.
Anche per i moduli di uscita sono previsti circuiti di protezione contro i disturbi e sono presenti optoisolatori per separare galvanicamente i circuiti interni del PLC dai carichi collegati alle uscite; è inoltre affidato a fusibili il compito di operare una protezione contro i sovraccarichi e i cortocircuiti.
Si rende spesso necessaria l'installazione in parallelo alle uscite di gruppi RC, varistori o diodi per proteggerle dalle sovratensioni che possono nascere se i carichi sono di natura induttiva (relè, contattori ed elettrovalvole, ecc.): la scelta del tipo di protezione dipende dal tipo di uscita e di corrente impiegata.
Si utilizzano in genere gruppi RC e varistori in parallelo ai contatti quando le uscite sono a relè, con carichi alimentati in DC o in AC.
Queste due soluzioni possono essere adottate anche nel caso che le uscite siano a triac e, quindi, funzionanti solo in AC.
Nel caso infine di uscite a transistor, utilizzabili solamente per carichi in DC, si possono ancora utilizzare i gruppi RC e i varistori, anche se è preferibile usare dei diodi collegati in modo che siano polarizzati inversamente.
Fondamentalmente non c'è differenza se i dispositivi di protezione sono applicati sul carico oppure sulle uscite, ad eccezione della configurazione a transistor, in cui il diodo deve essere messo in parallelo al carico, qualora quest'ultimo sia di tipo induttivo.
Nelle figure 15, 16 e 17 sono riportati gli schemi interni delle uscite digitali a relè, a transistor e a triac.
Si noti la presenza in tutti i tipi delle uscite dell'accoppiatore ottico che separa galvanicamente il circuito interno del PLC dai circuiti di uscita, dei dispositivi di protezione contro i disturbi elettrici, dei fusibili di protezione contro i cortocircuiti e, infine, nel caso dell'uscita a relè (figura 15), del LED che segnala quando l'uscita è attivata.

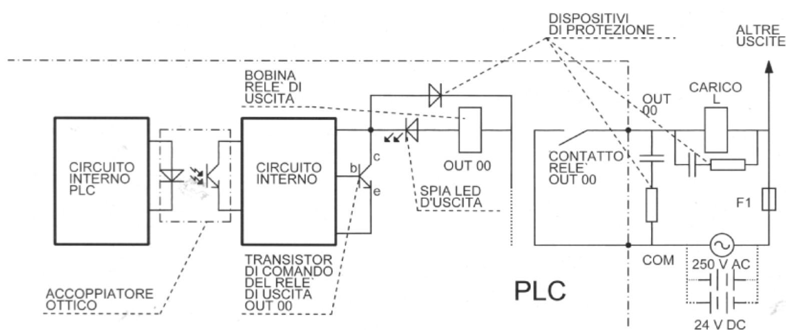


Fig. 15 - **Schema interno di un'uscita a relè**

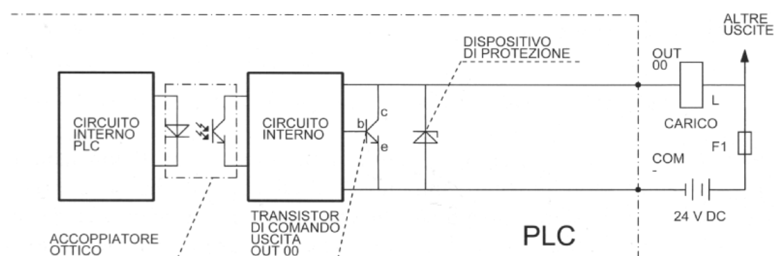


Fig. 16 - **Schema interno di un'uscita a transistor**

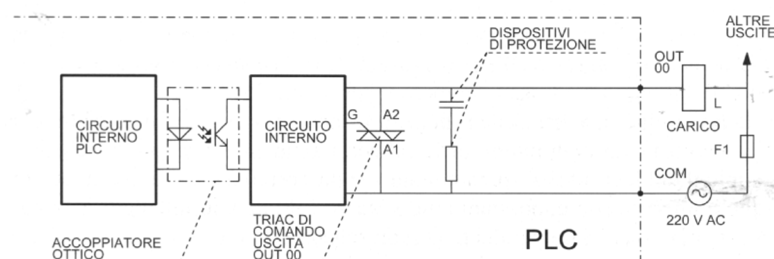


Fig. 17 - **Schema interno di un'uscita a triac**

Il *tempo di commutazione* di un'uscita, cioè l'intervallo che intercorre tra la presenza di un determinato stato logico nella memoria del PLC riservata alle uscite e la commutazione fisica del punto di uscita, varia a seconda dei dispositivi: per gli organi elettromeccanici è compreso tra alcuni millisecondi e una decina di millisecondi e dipende essenzialmente dal tempo di eccitazione dei relè, mentre per le uscite di tipo elettronico (triac e transistor) è molto inferiore (qualche

decina di microsecondi).
I triac e i transistor non garantiscono però l'isolamento galvanico quando l'uscita non è in conduzione, in quanto permettono il passaggio di una piccola corrente di fuga.
I dispositivi da collegare alle uscite di un PLC sono prevalentemente *bobine di relè*, *contattori di potenza*, *sirene/suonerie*, *elettrovalvole*, *solenoidi* e *lampade di segnalazione* e *visualizzatori*.
Il numero standard di uscite collegabili per ciascun PLC va da un minimo di 4 a un massimo di 64.

Ingressi analogici

Nei moduli ON/OFF il segnale viene determinato da uno stato logico 0 o 1.
Nel caso di una funzione che varia nel tempo e assume valori diversi che devono essere decodificati, si parla di grandezza *analogica*.
La gestione di questo tipo di segnale può avvenire in due modi: ***digitalizzazione del segnale*** oppure ***rilevazione di soglia***.

Digitalizzazione del segnale.

Si utilizza un dispositivo denominato *convertitore analogico/digitale* che opera una trasformazione della grandezza misurata in una parola digitale di n bit.
La risoluzione, cioè il grado di precisione con cui la grandezza viene controllata, dipende dal numero di bit disponibili nel dispositivo (tipicamente 8, 12, 16).
Per esempio, se il dispositivo è a 8 bit e si vuole controllare una variazione di temperatura da 0 ° a 10 °C, si avranno 2^8 (256) combinazioni possibili di temperatura misurata, con una precisione data dalla relazione

$$(10 - 0) / 256 = 0.039 \text{ °C}$$

cioè il dispositivo sarà in grado di sentire una variazione di 0.039 °C, al di sotto della quale non si genera alcun cambiamento del codice di uscita digitalizzato.

Rilevazione di soglia.

Con questa tecnica viene confrontato un livello di riferimento (quasi sempre fisso) con il valore della grandezza in esame: se quest'ultimo ha entità inferiore al livello di riferimento si avrà livello logico 0, mentre quando sarà maggiore si avrà livello logico 1.

In commercio esistono moduli di ingresso analogici in grado di ricevere un segnale in tensione (tipicamente 0/+10 V) o in corrente (tipicamente 4/20 mA).

Nei PLC più recenti e di migliori caratteristiche possono essere presenti alcuni ingressi adibiti alla conversione analogico / digitale; per ridurre i costi, piuttosto elevati, si ricorre alla tecnica del *multiplexing*, che consente di commutare in sequenza i diversi ingressi su di un unico convertitore, determinando però un leggero aumento del tempo di acquisizione dei dati.
Per ovviare a questo problema è possibile disabilitare via hardware (mediante microinterruttori) o via software gli ingressi non utilizzati, in modo da non essere più investigati.

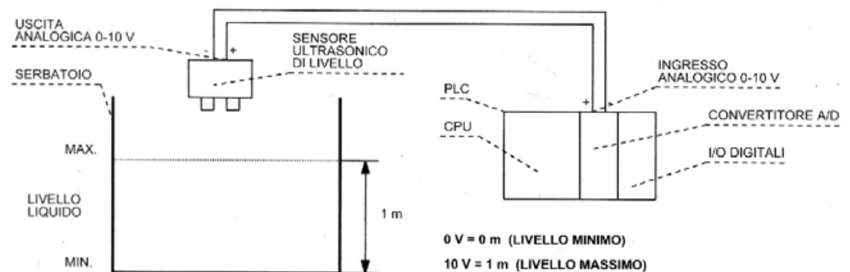


Fig. 18 – **Esempio di applicazione di un ingresso analogico di un PLC e di un sensore di livello con uscita analogica**

I più comuni dispositivi di ingresso collegabili a ingressi analogici sono: termocoppie, termoresistenze, trasduttori di pressione, trasduttori di livello, trasduttori di peso (celle di carico), trasduttori di portata e trasduttori di velocità.

Uscite analogiche

Parallelamente a quanto succede per gli ingressi di tipo analogico, un *convertitore digitale/analogico* trasformerà un valore digitale, contenuto in una stringa di bit che occupa una certa locazione di memoria nel PLC, in un valore di tensione (tipicamente –10/+10 V) oppure in corrente (tipicamente da 4/20 mA) in uscita.
Le tipiche applicazioni di que-

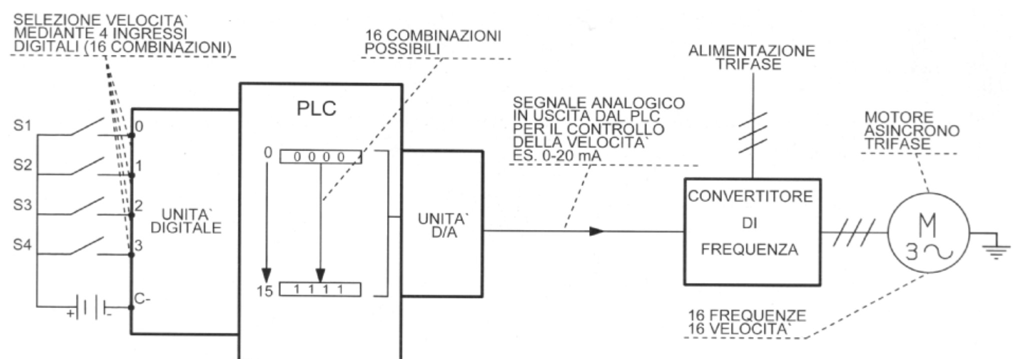


Fig. 19 – **Esempio di applicazione di un'uscita analogica per l'impostazione della velocità di un motore asincrono trifase**

ste uscite sono quelle della regolazione della velocità di motori elettrici in AC e in DC, del comando di valvole proporzionali, del controllo di processi continui.
Nei PLC muniti d'ingressi/uscite analogici, la CPU è sempre isolata dai convertitori A/D - D/A mediante l'interposizione di optoisolatori.

Parametri tecnici

Sui manuali tecnici dei PLC si trovano spesso, in riferimento ai circuiti di ingresso e di uscita, termini particolari che servono per indicare le caratteristiche tecniche di ogni controllore.

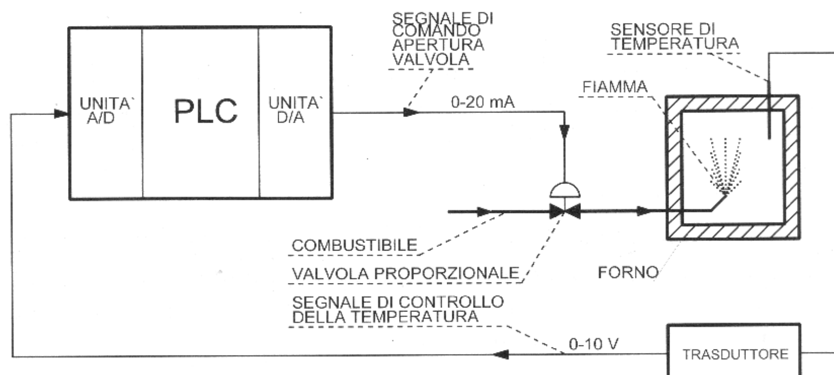


Fig. 20 – **Esempio di controllo della temperatura di un forno mediante un PLC dotato di convertitori A/D e D/A**

Queste caratteristiche diventano importanti, in particolare, quando si deve scegliere il tipo di PLC per una determinata applicazione.

Input voltage rating
Questo valore indica il tipo di corrente (AC o DC) e il valore della tensione che può essere applicata ad un'unità di ingresso; sono generalmente possibili scostamenti pari al ±10%.
Detto valore è a volte espresso con i termini *input voltage range,* dove vengono indicati il valore minimo e massimo dell'intervallo (per esempio, 24V DC ± 10%, ovvero la tensione di ingresso può variare tra 21.6 V e 26.4 V).

Input current rating
Questo valore indica la corrente che il dispositivo di ingresso deve essere in grado di fornire affinché si possa pilotare l'unità di ingresso; normalmente è dell'ordine dei milliampere.
A volte questo valore è indicato come la potenza minima necessaria per poter regolarmente pilotare gli ingressi.

Input threshold voltage
Con questo termine viene indicato il valore per il quale il segnale di ingresso è riconosciuto come stato logico 1; nella tabella 1 vale 15 V DC.

Input delay
Con questa definizione si indica il valore del tempo di acquisizione necessario ad un determinato ingresso affinché questi possa essere riconosciuto.
Il ritardo è utilizzato dai circuiti di ingresso per filtrare l'effetto rimbalzo dei contatti e dei transitori di tensione.
Tipici valori sono da circa 1.5 a 25 ms per i moduli standard sia in AC sia in DC; valori più bassi si possono trovare in alcuni ingressi speciali, come quelli di conteggio veloce.

Output voltage rating
Questo valore indica il tipo di corrente (AC o DC) e il valore della tensione che l'uscita può controllare; sono generalmente possibili scostamenti pari al ±10%.
Tale valore è a volte espresso con i termini *output voltage range,* dove vengono indicati il valore minimo e massimo dell'intervallo relativo alla tensione di lavoro (per esempio, 115 V AC ±10%, ovvero la tensione può variare tra 103,5 V e 126.5 V).

Output current rating
Questo termine indica il massimo valore di corrente che una singola uscita è in grado di fornire.
Il valore di corrente è in funzione delle caratteristiche dei componenti elettrici e/o elettronici e della dissipazione termica dei circuiti di uscita.
Valori superiori possono portare a permanenti cortocircuiti nei dispositivi di uscita (relè, transistor, triac) e ad altri danni permanenti, come la bruciatura delle piste di rame dei circuiti stampati.
Nel caso delle uscite a transistor funzionanti a 24 V DC, la corrente massima normalmente è di 0,5 A.

Output power rating
Esprime il massimo valore della potenza che un'unità di uscita può dissipare con tutte le uscite attivate.
Il valore, espresso in Watt, per una singola uscita è calcolato moltiplicando il valore della tensione per la corrente.
Questo numero, però, è in genere inferiore se tutte le uscite del modulo sono attivate.
Ad esempio, 16 uscite funzionanti a 24 V DC 0,5 A sono in grado di comandare 12 W singolarmente, ma il modulo è in

grado di gestire complessivamente solo 150 W rispetto a 192 W (12 · 16 = 192).

Output ON-delay oppure ***output OFF-delay***

Con questi termini viene indicato il ritardo di un circuito di uscita per passare, rispettivamente, dallo stato logico 0 allo stato logico 1 o viceversa, dopo che i circuiti logici interni hanno comandato di cambiare stato (per esempio, 15 ms).

Electrical isolation

Con questo termine si indica il valore massimo, in volt, della tensione di isolamento tra i circuiti di ingresso/uscita e i circuiti interni del PLC.
Il grado di isolamento indicato dai costruttori serve per proteggere i circuiti logici interni del PLC dalle sovratensioni che si verificano all'esterno, in particolare nei circuiti di potenza (per esempio, 1500 V DC).

Input voltage/current ranges

Questi valori vengono indicati nei moduli analogici di ingresso ed esprimono l'intervallo del valore di tensione e/o di corrente che quell'ingresso è in grado di gestire (per esempio, 0÷10 V, ± 20 mA, 4÷20 mA).

Output voltage/current ranges

Questi valori vengono indicati nei moduli analogici di uscita ed esprimono l'intervallo del valore di tensione e/o di corrente che quell'uscita è in grado di produrre (per esempio -10÷+10 V, 4÷20 mA).

Digital resolution

Questo valore indica come il convertitore (AD o DA) di ingresso o di uscita, sia in corrente sia in tensione, sia in grado di approssimare la grandezza in ingresso.
La risoluzione è funzione del numero di bi utilizzati dal convertitore A/D o D/A: maggiore è il numero dei bit, maggiore sarà la risoluzione (per esempio 8 10, 12, 16) e maggiore sarà il costo del modulo.

Points per module

Questa indicazione fornisce il numero di ingressi o di uscite (punti) che appartengono ad un determinato modulo; in genere i moduli hanno 1, 2, 4, 8, 16 o 32 punti, in relazione al tipo di PLC e a seconda del costruttore.
Un elevato numero di punti per modulo permette di ridurre lo spazio necessario per il PLC, ma contemporaneamente può essere più costoso.
Infatti, se per un'applicazione fossero necessari 17 punti e si utilizzassero solo moduli da 16 punti, è evidente il fatto che in un modulo ben 15 punti risulterebbero inutilizzati; converrebbe, in questo caso, utilizzare moduli con un numero inferiore di punti (per esempio, 4 o 8).

Wire size

Rappresenta la sezione dei conduttori che possono essere collegati alla morsettiera del modulo (per esempio, 1,5 mm^2).

MODULI SPECIALI

Oltre ai moduli di ingresso e di uscita di tipo digitale e analogico, esistono in commercio anche dei moduli per applicazioni particolari, che soddisfano le esigenze della fabbrica automatica.
La strada imboccata dai produttori di PLC è quindi quella di asservire a funzioni speciali dei *moduli speciali*; i benefici che se ne traggono sono:

- liberare la CPU dall'onere di gestire tali funzioni speciali, demandando a essa la sola gestione delle operazioni fondamentali di controllo;
- la possibilità di offrire all'applicazione (controllo assi, posizionamento, conteggio veloce, ecc.) una velocità di risposta molto elevata.

Questi moduli si prefigurano come dei dispositivi di preelaborazione del segnale, in quanto sono dotati di un proprio microprocessore; per questo motivo sono anche noti come moduli "intelligenti".
Costruiti per soddisfare le esigenze di funzioni particolari (ad esempio sentire tensioni estremamente deboli come quelle delle termocoppie, o applicazioni con frequenze di commutazione elevate) e per ridurre il carico di lavoro della CPU del PLC, i moduli speciali consentono soprattutto di ampliare notevolmente l'utilizzo del PLC in ambito industriale.

Moduli per l'interfacciamento di termocoppie o di termoresistenze

Questi moduli sono confezionati in modo da poter ricevere segnali direttamente da termocoppie (di solito tipo K e J) o da termoresistenze (PT100); tali segnali presentano un livello bassissimo di tensione (ad esempio per le termocoppie difficilmente supera i 40 mV).
Il modulo compie operazioni di filtraggio, linearizzazione, amplificazione del segnale e conversione in valore digitale; nel condizionamento delle termocoppie uno speciale circuito compensa la temperatura del giunto freddo, che altrimenti falserebbe la misura effettuata.

Moduli di conteggio veloce

Quando la frequenza dei segnali di ingresso assume valori rilevanti (ad esempio impulsi provenienti da un encoder), le entrate normali del controllore non riescono a soddisfare le esigenze del caso, poiché la *scansione* del PLC è troppo lenta (al massimo qualche decina di msec.) rispetto all'intervallo di tempo con cui commutano i segnali di ingresso.
In questo caso si utilizzano particolari moduli di ingresso veloce, che sono equipaggiati con un proprio processore in

grado di rilevare segnali che arrivano anche a diverse centinaia di KHz.
Le applicazioni tipiche sono quelle di conteggio pezzi, misure di lunghezza o di posizione, misure di velocità, misure di durata.
Una particolare funzione svolta da questi moduli è la *camma elettronica*; grazie a questa opzione viene consentito di fissare un certo numero di soglie che, confrontate con il valore corrente misurato, determinano a precisi valore di conteggio l'attivazione di un certo numero di uscite, secondo una matrice predefinita.
Generalmente un modulo di conteggio veloce è completamente autonomo rispetto al programma principale gestito dalla CPU del PLC, e il tipo di funzione da effettuare (conteggio semplice o bidirezionale, misura di lunghezza, di velocità, camma elettronica, ecc.) viene determinato con la configurazione software.
Una variante di questo oggetto è in grado di gestire segnali in codice Gray inviati da un encoder assoluto.
Ormai anche i piccoli PLC monoblocco sono dotati di almeno un ingresso di conteggio veloce.

Moduli di posizionamento assi

I moduli di posizionamento assi permettono di realizzare sistemi integrati per il controllo della posizione di più assi sincronizzati; sono in grado di pilotare dei sistemi dotati di motori sia in AC, sia in DC oppure passo-passo.
L'azionamento del motore è determinato da un programma eseguito dal microprocessore interno al modulo.
Tale programma è costituito da una serie di passi che descrivono i movimenti da effettuare al fine di realizzare traiettorie anche molto complesse; di queste è possibile definire la posizione finale (*quota*), l'accelerazione, la decelerazione e la velocità di regime del motore.
Il segnale di comando generato per gli attuatori è un treno di impulsi a frequenza variabile; la frequenza è crescente durante l'accelerazione, costante a regime, decrescente durante la decelerazione del motore.
Questi moduli permettono inoltre di controllare in tempo reale la retroazione del motore asservito, grazie a un segnale fornito da un trasduttore di posizione (ad esempio un encoder calettato sullo stesso albero del motore): in tal modo diventa possibile eseguire il controllo ad anello chiuso della velocità e della posizione.
Queste caratteristiche sono utilizzate per movimentare robot, palettizzatori, macchine utensili e macchine in genere.
I moduli possiedono una propria memoria interna nella quale sono inseriti i parametri della movimentazione (quote, rampe di accelerazione e di decelerazione) derivanti di solito dalla *procedura di apprendimento*[8]; dispongono anche di contatori che consentono di effettuare sequenze ripetitive del programma.
Nella maggior parte delle configurazioni possono controllare con un'elevata precisione (al decimo di micrometro) due assi meccanici.

Moduli PID (Proportional Integrative Derivative)

I moduli PID (Proporzionale Integrativo Derivativo) vengono impiegati nelle applicazioni ad anello chiuso, dove determinate caratteristiche funzionali debbono rimanere invariate.
Nelle applicazioni di controllo (di temperatura, di flusso, di livello, velocità ecc.) vengono stabiliti dall'operatore i valori prefissati (*set point*) del processo, ovvero i valori che dovrebbero essere mantenuti dal sistema a fronte di qualsiasi variazione ambientale.
I moduli PID consentono il confronto tra questi parametri di riferimento del processo e i dati effettivamente rilevati dal campo; qualora manchi la convergenza, il modulo è in grado autonomamente di generare dei messaggi di errore e dei segnali in grado di attivare le soluzioni atte a riportare il processo al normale funzionamento, in base del programma precedentemente memorizzato.
In alcuni modelli recenti di PLC il modulo PID è integrato; è possibile accedere alle sue funzioni attraverso chiamate a sottoprogrammi o a blocchi funzionali da inserire nel programma applicativo.

Orodatario

Nei PLC più recenti può essere inserito all'interno dell'unità centrale un orologio calendario.
Questo accessorio consente di elaborare programmi dove è necessario attivare dei processi in determinate ore del giorno, considerando anche le variabili giorno della settimana/mese/anno.
Generalmente le funzioni caratteristiche dell'orodatario sono ***programmazione temporale***, ***giornale*** e ***misurazione di durata***.

Programmazione temporale

Questa funzione permette di programmare eventi a orari e date predefinite; è possibile stabilire, ad esempio, che l'accensione del riscaldamento di un edificio avvenga dal 21 ottobre 2006 al 21 marzo 2007, dal lunedì al sabato, dalle ore 6:00 alle 14:30.

Giornale

È possibile attribuire una data e un' ora a eventi che accadono, servendosi di determinate *system-words* (parole siste-

[8] Metodo che prevede l'utilizzo del modulo di posizione assi dapprima i manualmente, attivando ciascun asse fino al raggiungimento della posizione prefissata e ottenendo dal modulo stesso i parametri della movimentazione da inserire nel programma finale.

ma) che ne memorizzano i valori correnti; successivamente, dato un segnale esterno o tramite un bit sistema, si ha la possibilità di far emettere al PLC un messaggio (visualizzazione su display o stampa) che indica l'ora e la data in cui un certo evento si è attivato.

Misurazione di durata

Servendosi di parole sistema predefinite all'interno del PLC, si possono effettuare misurazioni dell'intervallo di tempo intercorso tra due eventi.
Al verificarsi di ciascun evento, vengono immagazzinati in apposite word i valori correnti relativi a data e ora; successivamente queste word verranno manipolate con operazioni aritmetiche, al fine di fornire informazioni circa la durata di un determinato processo.

Moduli ASCII BASIC

Questi moduli permettono lo scambio di informazioni in formato ASCII tra il PLC e periferiche quali visualizzatori, stampanti, personal computer, lettori di codice a barre, sistemi di pesatura, utilizzando una semplice porta di comunicazione seriale tipo RS232, RS422 o RS485.
Il codice ASCII è un codice che consente, tramite l'utilizzo di 8 bit, di codificare un qualsiasi carattere alfanumerico e determinati caratteri di controllo.
Per evitare quindi l'occupazione di memoria RAM del PLC si utilizzano tali moduli, che sono configurati con una propria memoria RAM e un proprio processore.
Se richiesto durante l'esecuzione del programma, Il PLC invierà al modulo un codice corrispondente al messaggio da trasmettere precedentemente memorizzato e, conseguentemente, il modulo ASCII BASIC provvederà a trasferirlo alla periferica: un classico esempio di utilizzo è l'invio di messaggi di tipo diagnostico a visualizzatori.
Lo scambio di informazioni può avvenire anche in senso inverso, ovvero dalla periferica al PLC: ne è esempio la trasmissione di un dato effettuata da parte di un lettore di codice a barre.

Pannelli operatore

Un pannello (terminale) operatore è un oggetto costituito essenzialmente da un display e da una tastiera che, collegati ad un PLC, comunicano con esso per consentirne il *colloquio con l'operatore*, ovvero per visualizzare messaggi, allarmi e per gestire e modificare le variabili del processo controllato.
Il collegamento fra il terminale ed il PLC avviene di solito per mezzo di una linea seriale RS232, RS422 o RS485; è necessario che la modalità di comunicazione (protocollo) sia impostata in modo identico nel terminale e nel PLC affinchè il colloquio avvenga correttamente.
Durante la comunicazione il terminale si comporta da **master** ed il PLC da **slave**; in questa configurazione il terminale interroga ciclicamente il PLC rispettando una temporizzazione fissa impostata dall'operatore (*tempo di aggiornamento*), andando a leggere e scrivere alcune locazioni di memoria che hanno un significato particolare.
Attraverso questo scambio di informazioni il PLC può selezionare i messaggi da visualizzare e sentire i tasti premuti, mentre il terminale visualizza e consente la modifica di variabili.

Moduli vocali

Il modulo vocale è in grado di riprodurre messaggi audio, di allarme o istruzioni per l'uso di una macchina o di un impianto; questi messaggi devono essere precedentemente registrati nel modulo stesso tramite un microfono o un registratore a cassetta.

Moduli di comunicazione

Lo scambio di dati, messaggi, informazioni tra un insieme di PLC è possibile tramite i moduli di comunicazione; questi gestiscono i *protocolli di comunicazione* per le diverse tipologie di reti informatiche che possono essere coinvolte nel sistema (bus di campo, reti proprietarie, ETHERNET, etc.)
Generalmente ogni casa produttrice di PLC sfrutta un suo protocollo di comunicazione; attualmente esiste una regolamentazione che normalizza tali protocolli al fine di evitare che la comunicazione sia possibile esclusivamente tra apparecchiature provenienti dalla stessa fabbrica.

Moduli per terminali remoti di input/output

Quando un elevato numero di punti di I/O è localizzato o ad una considerevole distanza dal PLC o in diversi punti dell'impianto, sorge il bisogno di ridurre la complessità che deriva dal dover collegare uno ad uno tutti gli ingressi e tutte le uscite al controllore.
Quest'esigenza comporta delle difficoltà: il numero dei cavi da collegare aumenta all'aumentare del numero dei segnali da controllare, incrementando la probabilità di un malfunzionamento dovuto all'interruzione dei collegamenti, senza contare il fatto che l'installazione diventa più costosa, lunga e soggetta ad errore.
Una soluzione tecnologicamente avanzata implica l'utilizzo di una rete locale, impiegata in genere per rendere completamente automatizzata una fabbrica, sia dal punto di vista dell'automazione dell'impianto sia dal punto di vista della

gestione di altri dati (statistiche, magazzino, ecc.). Una rete locale, per le caratteristiche che presenta e per le difficoltà che nascono a volte per avere un'installazione sicura ed affidabile, si presta scarsamente ad un controllo distribuito dell'impianto[9].

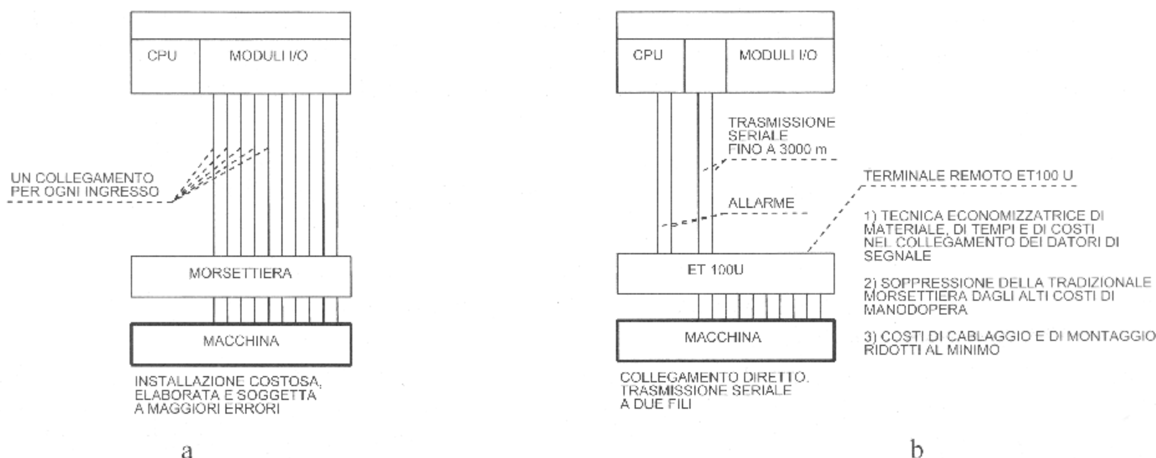


Fig. 21 – **a) Sistema tradizionale di collegamento tra il PLC e la macchina – b) Sistema di collegamento tra il PLC e macchina mediante un terminale remoto (ET100 Siemens)**

La soluzione proposta dai costruttori è quella di utilizzare un unico PLC, collocato nel punto più facilmente raggiungibile e controllabile dell'impianto, i cui punti di ingresso e di uscita siano localizzati non solo sul PLC, ma su blocchi comunicanti attraverso linee di comunicazione seriali con la CPU tramite un doppino telefonico, talvolta schermato per avere una certa immunità dai disturbi (figura 22).

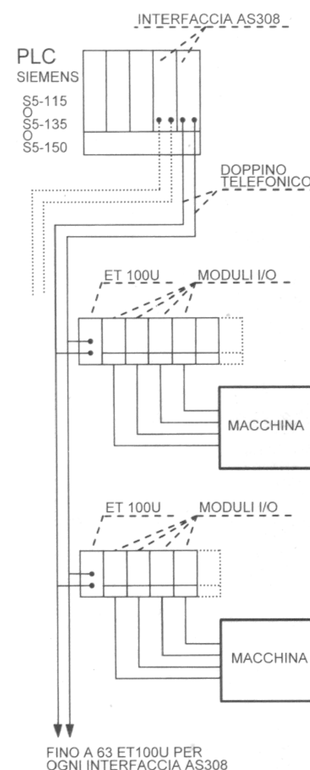


Fig. 22 – **Esempio di configurazione e utilizzo dei terminali remoti**

L'impianto viene così a possedere un sistema di controllo distribuito, che è in genere caratterizzato dalle seguenti parti:

- l'unità base del controllore programmabile, con l'alimentatore e l'unità centrale CPU;
- il modulo di interfaccia tra la CPU e i singoli moduli disseminati nell'impianto, inserito nell'unità base;
- i moduli I/O, con un numero di punti variabile a seconda delle necessità, in grado di ricevere segnali sia digitali sia analogici; tali moduli sono posti in apposite cassette di distribuzione, vicine ai singoli punti da controllare e distanti anche alcuni chilometri dal PLC.

I vantaggi che si possono avere utilizzando un sistema distribuito di questo tipo sono notevoli:

- riduzione dei tempi di progettazione dell'impianto;
- minore costo del materiale;
- diminuzione dei tempi e dei costi di installazione;
- soppressione delle tradizionali morsettiere che hanno alti costi di manodopera;
- riduzione dei tempi di blocco impianto, in quanto detti moduli consentono una diagnostica sofisticata e centralizzata che consente di trovare più rapidamente i guasti.

Moduli file memory

Il modulo file memory è una memoria di massa in grado di memorizzare programmi utenti, parametri e dati di lavorazione (per esempio, memory card con memoria flash).
Queste informazioni possono essere trasferite nella memoria della CPU e viceversa, oppure modificate on-line, il tutto mediante appositi comandi che si possono ritrovare nel firmware del PLC.
Grazie alla facile trasportabilità di questi dispositivi, possono essere anche utilizzate come dispositivo ausiliario di back-up, utile per ogni evenienza nel caso in cui il programma debba essere reinstallato o installato su altri PLC.

Moduli di backup

Sono moduli che, inseriti in due PLC differenti e collegati tra loro, permettono di avere una funzionalità di backup.
Attraverso tali moduli il processore del PLC principale informa costantemente il processore situato nel PLC di riserva sullo stato delle operazioni in esecuzione; quest' ultimo, che esegue lo stesso programma, può, in caso di malfunzionamento del PLC primario, sostituirlo in tempi brevissimi nella gestione degli ingressi e delle uscite.

[9] Basti pensare, ad esempio, al metodo di accesso al mezzo fisico normalmente utilizzato in una rete locale, il CSMA/CD, che rende assai difficoltoso il rispetto del requisito di *determinismo* richiesto dalla maggior parte delle applicazioni di automazione

LA SCANSIONE DEL PLC

Il PLC ha un funzionamento ciclico di tipo sequenziale; è in grado di eseguire le funzioni programmate con ripetività, da quando viene alimentato e messo in stato di RUN fino a quando o lo si porta in stato di STOP e si toglie alimentazione oppure si presentino condizioni che generino situazioni di guasto o di errore, con conseguenti malfunzionamenti e fermate del ciclo.
Il ciclo che compie è denominato ***ciclo di scansione***, mentre il tempo che impiega a compierlo si chiama ***tempo di scansione***.
Ciascun PLC è costruito per operare secondo uno dei seguenti tipi di scansione:

- **sincrona di ingresso e di uscita;**
- **sincrona di ingresso e asincrona di uscita;**
- **asincrona di ingresso e di uscita.**

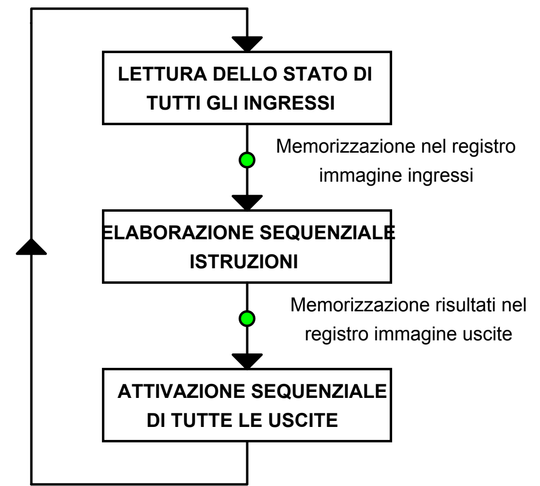


Fig. 23 - **Scansione sincrona di ingresso e di uscita**

La scansione ***sincrona di ingresso e di uscita*** è schematizzata nella figura 23.
Questo ciclo si configura in una lettura dello stato di tutti gli ingressi presenti, con successiva elaborazione sequenziale delle istruzioni del programma precedentemente stabilito; solo alla conclusione di questa fase avviene l'attivazione delle uscite.
La CPU acquisisce tutte le informazioni riguardanti lo stato dei moduli di ingresso, una dopo l'altra, con una certa gerarchia data dall'indirizzamento dei punti di input; lo stato logico di questi input viene memorizzato in un registro dedicato (***registro immagine degli ingressi***) che si trova nella memoria dati, formando quindi una sorta di immagine dello stato logico di tutti gli ingressi.
Segue poi l'elaborazione del programma da parte della CPU; durante questa fase gli stati delle uscite che man mano si determinano sono assegnati al ***registro immagine delle uscite***, <u>senza che siano inoltrati ai moduli di output</u>.
Solamente dopo l'esecuzione dell'ultima istruzione del programma tutte le uscite vengono effettivamente aggiornate, in modo sequenziale con gerarchia data dall'indirizzamento dei punti di output.
Terminato un ciclo la scansione riprende dal primo passo, ripetendosi in continuazione; questo vale, ovviamente, finché il PLC è mantenuto in stato di RUN.
Se durante lo svolgimento del ciclo appena descritto si verifica una variazione degli ingressi, è quasi certo che questa non potrà essere rilevata che all'inizio di una nuova scansione.
Bisogna infatti considerare che la maggior parte del tempo di scansione è riservato all'esecuzione delle istruzioni del programma, ed è quindi molto probabile che una modifica degli ingressi avvenga proprio durante questa fase; di conseguenza la CPU non potrà tenere conto di questo evento durante l'elaborazione in corso.
Il ***tempo di risposta***, ovvero il tempo che passa tra la variazione degli ingressi e la corrispondente variazione delle uscite, è quindi di solito <u>sempre superiore al tempo di scansione</u>.
L'inconveniente non si dimostra particolarmente grave per molte applicazioni, dato l'ordine di grandezza molto piccolo di questo tempo; è infatti di solito compreso tra 5 e 45 msec. a seconda della quantità di istruzioni contenute nel programma e del tipo di CPU.

La scansione ***sincrona di ingresso ed asincrona*** *di uscita* é schematizzata in figura 24.
Questo tipo di ciclo è sincrono di ingresso in quanto tutti gli input vengono letti contemporaneamente, ed asincrono di uscita poichè l'invio dei risultati alle uscite viene fatto in tempi diversi.
Gli ingressi vengono letti tutti ed una sola volta all'inizio della scansione; le uscite vengono invece trasmesse all'esterno via via che maturano i risultati durante lo svolgimento del programma: ogni uscita viene perciò attivata nel momento in cui è stata elaborata la funzione logica

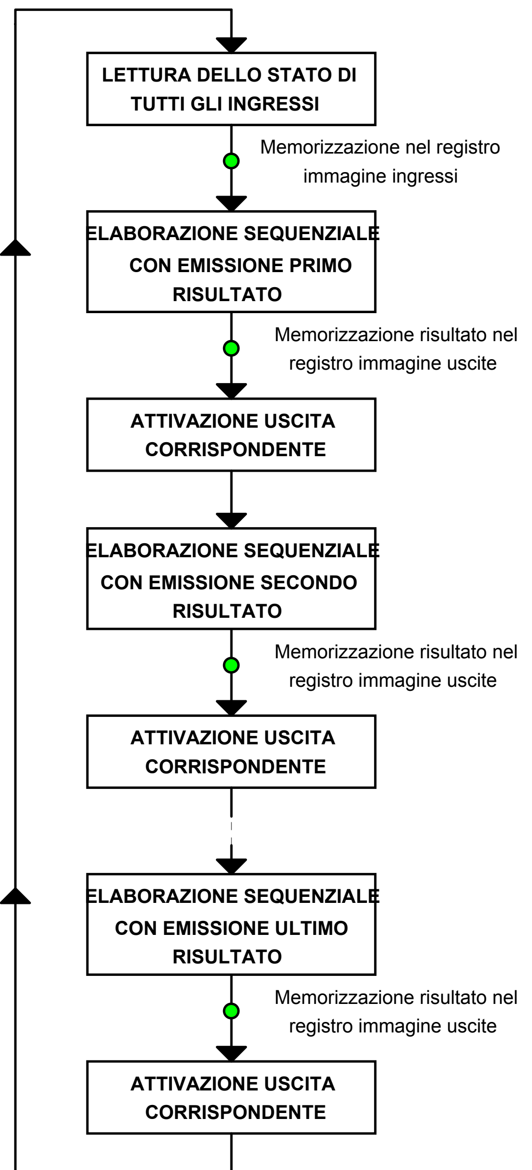


Fig. 24 - **Scansione sincrona di ingresso e asincrona di uscita**

ad essa assegnata.
Con questo tipo di scansione si ha un aggiornamento delle uscite più rapido di quello che consente il ciclo precedente.
Il terzo modo di operare è quello ***asincrono di ingresso e di uscita*** ed è schematizzato nella figura 25.
Gli ingressi sono aggiornati ogni volta che durante lo svolgimento del programma la CPU incontra un'istruzione che la obbliga a acquisirne lo stato.
Se un bit del registro immagine delle uscite viene modificato durante l'elaborazione, si ha un immediato invio dello stato logico risultante al modulo di output corrispondente.
Questo modo di funzionamento di un PLC, molto simile a quello di un computer, consente di ottenere un tempo di risposta notevolmente ridotto rispetto ai primi due casi.

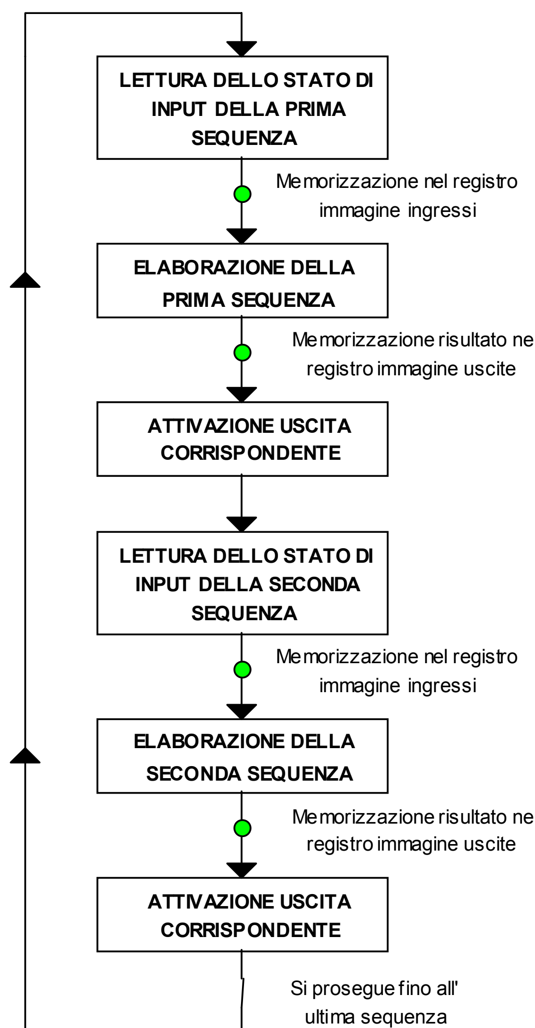


Fig. 25 - **Scansione asincrona di ingresso e di uscita**

In realtà qualsiasi tipologia di scansione è più complessa rispetto a quanto precedentemente descritto.
La figura 26 illustra, come esempio, il ciclo di scansione di un PLC Siemens S7-200 (che opera con scansione sincrona di ingresso e di uscita).
Come si può notare è costituito da cinque operazioni.

- Lettura degli ingressi: l'S7-200 copia lo stato degli ingressi fisici nel registro di immagine di processo degli ingressi.
- Esecuzione della logica di controllo nel programma: l'S7-200 esegue tutte le istruzioni del programma.
- Elaborazione delle richieste di comunicazione: l'S7-200 elabora i messaggi ricevuti dalla porta di comunicazione o dalle unità di I/O intelligenti.
- Esecuzione dell'autotest della CPU: l'S7-200 verifica il corretto funzionamento del firmware, della memoria del programma e delle eventuali unità di ampliamento, imposta il watchdog timer[10], aggiornamento orologio, ecc.
- Scrittura nelle uscite: i valori memorizzati nel registro di immagine di processo delle uscite sono scritti nelle uscite fisiche.

È importante che il tempo di scansione sia il più breve possibile, principalmente per due motivi:

- avere un tempo di risposta del PLC il più ridotto possibile (indipendentemente dal tipo di scansione implementata sulla macchina);
- evitare malfunzionamenti (per esempio alcuni timer rapidi non funzionano al meglio con tempi di scansione superiori ai 10 msec.).

Nel ciclo di scansione vi sono delle operazioni precostituite sulle quali l'operatore non può intervenire, e altre che invece hanno una durata variabile, a seconda del numero di moduli di I/O da scrutare e della lunghezza del programma.
Al fine di aiutare l'operatore nella scrittura di programmi compatti e veloci, i costruttori forniscono delle tabelle che riportano i tempi richiesti da ogni operazione che costituisce il ciclo di scansione (Tabella 2).

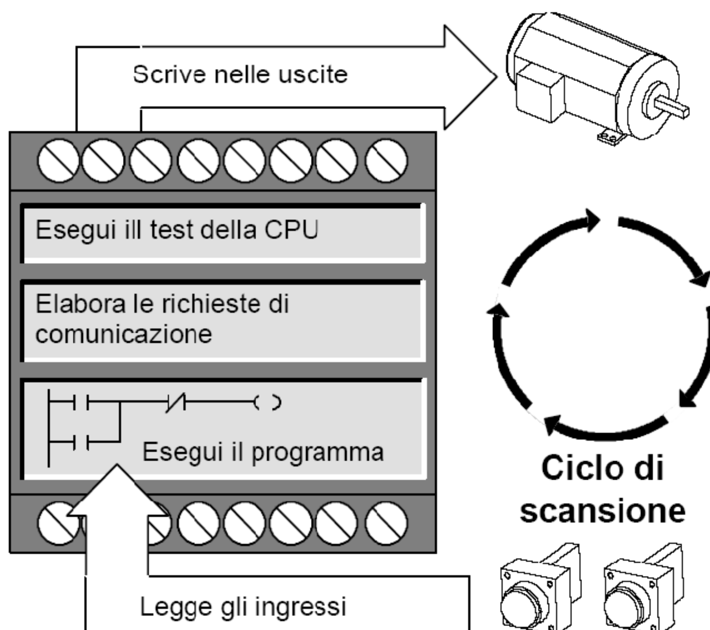


Fig. 26 – **Ciclo di scansione di un PLC Siemens S7-200**

[10] Generalmente i PLC hanno un timer programmabile, denominato ***watchdog*** (cane da guardia), regolato ad un valore massimo (di solito compreso tra 200÷300 msec.); questo dispositivo software ha la funzione di fermare il ciclo se la scansione supera tale tempo massimo, onde evitare che si generino dei cicli di programmi ripetitivi (loop) dovuti a malfunzionamenti.

Processo	Tempi richiesti
Lettura degli input	0.15 ms
Esecuzione programma	Tutto il tempo necessario all' esecuzione delle istruzioni (dipende dai contenuti del programma utente; si consideri, ad esempio, che il tempo di elaborazione di un'istruzione di lettura dagli ingressi/scrittura sulle uscite è di 0.22 µsec.)
Gestione porta periferiche	0.35 ms
Controllo	0.5 ms
Rinfresco degli output	0.15 ms

Tab. 2 – **Fasi e temporizzazioni di un ciclo di scansione in un PLC Siemens S7-200**

Cicli monotask, bitask, multitask

In genere un PLC è equipaggiato con un microprocessore che gestisce il ciclo di scansione della macchina; in gergo questo tipo di logica programmabile viene denominata *monotask* poiché risulta essere uno solo il lavoro (programma) da eseguire.
Si sono sviluppate anche macchine *bitask* che possono lavorare su due programmi, che vengono immagazzinati in due ipotetici contenitori chiamati *task master* e *task fast*.
La task master contiene il lavoro che il PLC deve eseguire correntemente; la task fast (rapida) è invece destinata alle elaborazioni solitamente di breve durata con tempi di risposta rapidi (< 2 msec.) ed è attivata su eventi esterni oppure interni al PLC o ancora in modo periodico.
La comparsa di una situazione particolare (per esempio input su ingressi rapidi, raggiungimento valore di preselezione di contatore rapido o del temporizzatore rapido), interrompe la normale scansione in task master e attiva la task rapida; il PLC esegue il programma custodito nella task fast, per poi tornare al punto in cui si era interrotto nella task master e proseguire il ciclo normale[11].
Questa architettura è dunque in grado di intervenire in modo opportuno rispetto a problematiche diverse, anche se la gestione delle due task è affidata a un unico processore.
Se la modalità bitask può essere sufficientemente apprezzabile per risolvere determinate situazioni, risulta insufficiente per livelli di gestione più complessi; non è in grado, infatti, di risolvere i problemi che intervengono qualora dovessero essere gestiti contemporaneamente più avvenimenti di carattere diverso.
A livelli di gestione di automazioni medio - alte, l'architettura monotask o bitask non è più in grado di svolgere le operazioni complesse necessarie, ed ecco allora una evoluzione ulteriore dei PLC: la struttura *multitask*, progettata per una gestione dei sistemi automatici più integrata e completa.
La sua configurazione vede da una parte la presenza di più task, ognuna dedicata a funzioni diverse, che possono essere eseguite simultaneamente, grazie a un'architettura hardware multiprocessore.
La struttura multitask prevede una serie di task indipendenti governate da una. task principale; tra queste si possono ricordare:

- task master,
- task di interrupt,
- task rapida,
- task ausiliaria,
- task sistema.

In ciascuna task si potranno dichiarare dei moduli di I/O non configurati in altre task; in questo modo si potranno avere scansioni molto più veloci in quanto ogni task scandirà solo gli I/O che gli interessano e non tutti quelli presenti, abbreviando notevolmente i tempi di risposta.

[11] Questa modalità di funzionamento è quindi del tutto simile a ciò che avviene in un microprocessore quando è chiamato a gestire una richiesta di interrupt.

ELEMENTI FUNZIONALI

Il PLC simula al suo interno un certo numero di operatori ed invia alle uscite segnali che sono il risultato delle operazioni svolte su tali operatori.
Come illustrato in figura 27 il PLC si comporta come se avesse un "*magazzino di funzioni*" dal quale, servendosi del programma utente, preleva in successione quelle necessarie ad assicurare il controllo degli attuatori.
Il tipo ed il numero delle funzioni disponibili dipende dalla taglia e dal particolare modello del PLC.
In generale gli elementi funzionali dei controllori sequenziali si possono distinguere in:

- dispositivi logici combinatori;
- dispositivi logici sequenziali;
- operatori matematici.

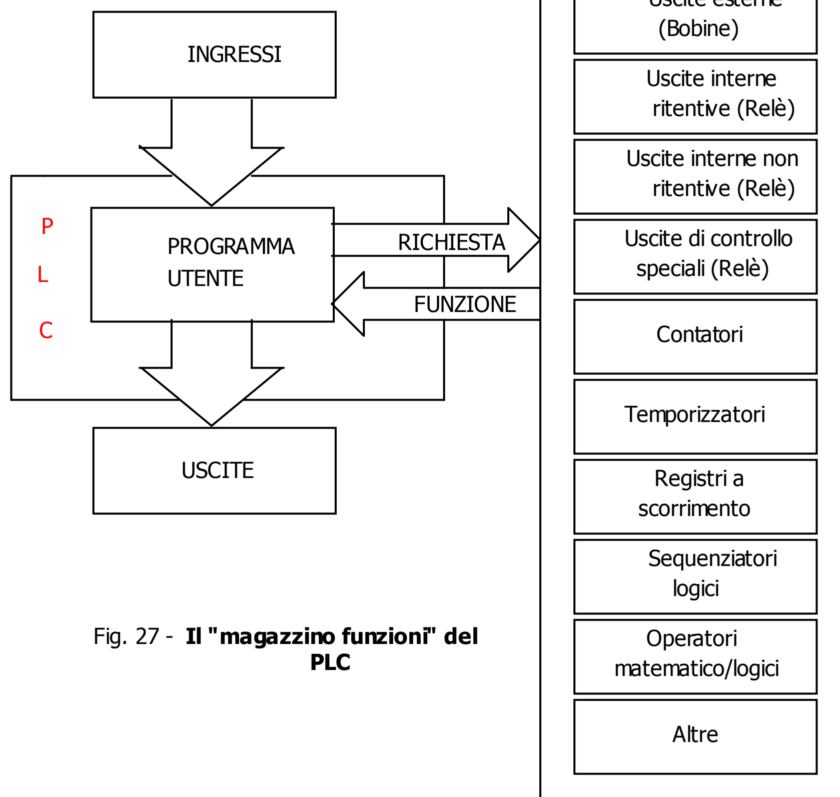


Fig. 27 - **Il "magazzino funzioni" del PLC**

Elementi funzionali logici

I dispositivi logici combinatori e sequenziali sono quelli che consentono al PLC di operare secondo la logica a relè; essi sono:

- ingressi esterni;
- uscite esterne;
- uscite di controllo interne (relè interni ritentivi);
- uscite di controllo interne a memoria temporanea (relè non ritentivi);
- uscite di controllo speciali (relè speciali);
- temporizzatori;
- contatori (normali e veloci);
- registri a scorrimento;
- sequenziatori;
- memorie dati (o registri).

Gli ingressi esterni sono considerati dal PLC come contatti NA; le uscite sono invece considerate come bobine di relè, e per questo motivo vengono anche chiamate direttamente relè.
Occorre porre particolare attenzione al concetto appena espresso; il PLC considera i dispositivi d'ingresso e di uscita esterni rispettivamente come contatti e bobine indipendentemente dalla loro effettiva costituzione fisica.
Un **ingresso** può essere costituito da un finecorsa, un pulsante, un contatto di relè, un sensore ottico ecc.; in tutti i casi per il PLC esso è un contatto NA.
Un'**uscita** potrebbe essere una bobina di relè, un'elettrovalvola, una lampada, ecc.; in tutti i casi per il PLC essa è una bobina.
Gli ingressi e le uscite esterne sono gli unici dispositivi effettivamente presenti e pertanto devono essere cablati, ovvero collegati elettricamente alla morsetteria del PLC.
Tutti gli altri dispositivi come i relè interni, i contatori ecc., non sono fisicamente presenti ma vengono **simulati** all' interno del controllore.
Le uscite di controllo interne possono essere di due tipi:

- ritentive;
- non ritentive.

I **relè non ritentivi** non mantengono lo stato in caso di caduta di alimentazione; questo significa che se un relè di questo tipo si trova in posizione ON al momento dell' interruzione dell' alimentazione della CPU, esso si troverà in posizione OFF quando questa sarà riattivata.
Le **uscite interne ritentive** sono anche dette **di mantenimento** o relè latch, in quanto mantengono il loro stato anche durante un' interruzione dell' alimentazione.
I **relè a memoria temporanea** si utilizzano quando occorre effettuare memorizzazioni intermedie.
I **relè di controllo speciali** assolvono a funzioni particolari quali:

- disabilitazione delle uscite in caso di particolari condizioni (ad esempio quando entra in funzione il relè di Run);
- generazione di un impulso periodico di assegnata frequenza (Clock);
- reset iniziale del PLC.

Contatori, temporizzatori, sequenziatori e registri a scorrimento sono ***funzioni***, dette ***di box*** o di blocco funzionale (o non a relè), che emulano i rispettivi dispositivi fisici; così come esistono molti modelli di tali apparecchiature si hanno anche diverse simulazioni di essi da parte dei vari PLC.